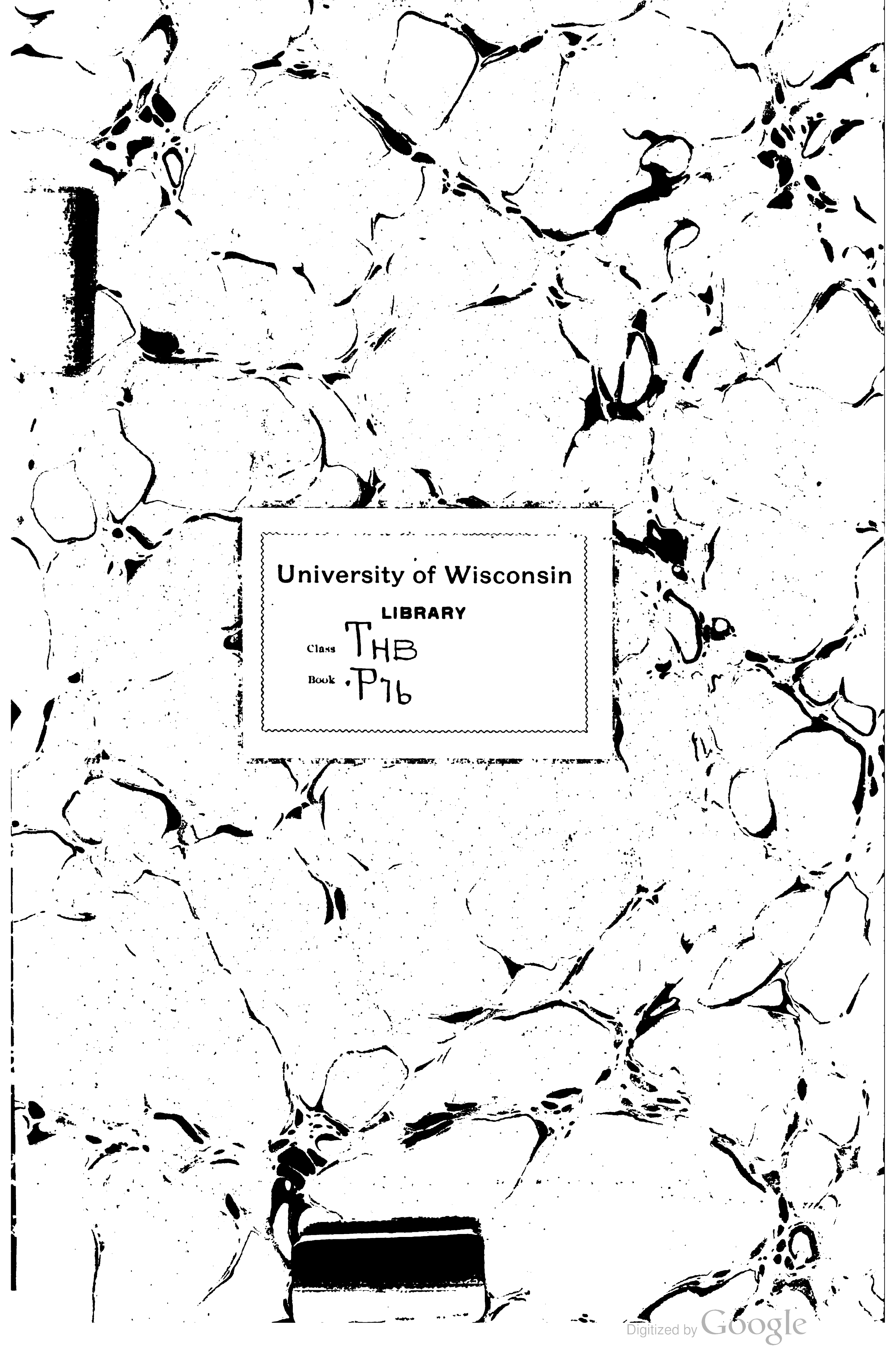
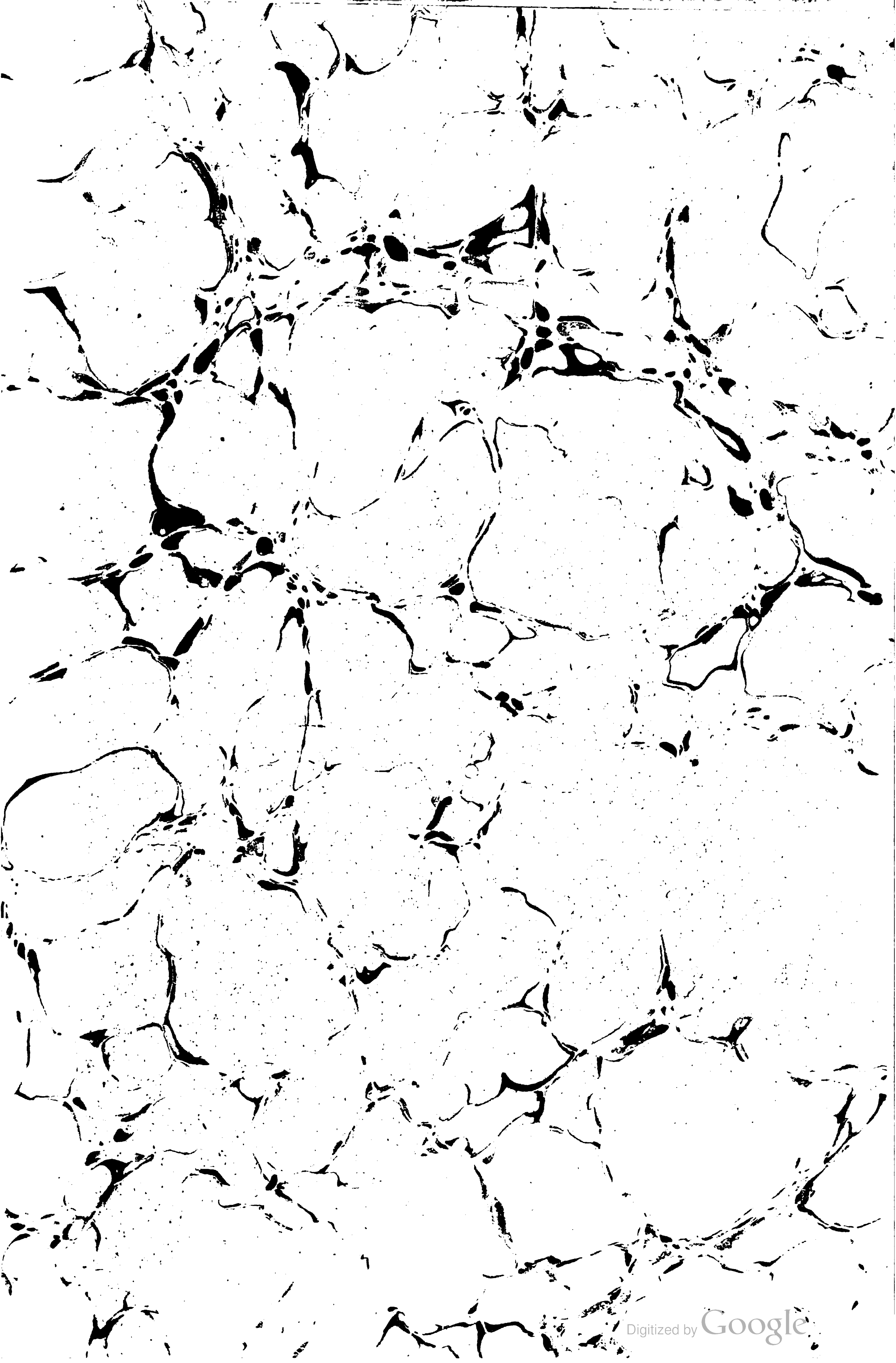




University of Wisconsin
LIBRARY
Class THB
Book .P76



LES

NOUVELLES MACHINES A VAPEUR

A l'Exposition Universelle de 1889

Paris. — Imprimerie E. BERNARD et Cie, 23, rue des Grands-Augustins.

LES

NOUVELLES MACHINES A VAPEUR

A L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1889

PAR

E. POLONCEAU ✻

INGÉNIEUR EN CHEF DE LA TRACTION ET DU MATÉRIEL
AU CHEMIN DE FER D'ORLÉANS

(*Extrait de la Revue Technique de l'Exposition universelle de 1889*



PARIS
E. BERNARD ET Cie, IMPRIMEURS-ÉDITEURS
53ter, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS

1893

Progrès réalisés dans les machines à vapeur depuis 1878

CONFÉRENCE de M. E. POLONCEAU

INGÉNIEUR EN CHEF DU MATÉRIEL ET DE LA TRACTION
DU CHEMIN DE FER D'ORLÉANS

C'est seulement sur la demande réitérée du comité d'organisation du Congrès international de mécanique, et tout spécialement de son savant président, M. Phillips, que j'ai accepté de vous parler des *progrès réalisés dans les machines à vapeur depuis* 1878, car, pour traiter une question aussi vaste, aussi importante, il m'aurait fallu plus de temps et plus de talent que je n'en ai ; mais, grâce à l'extrême obligeance de divers ingénieurs et constructeurs, j'ai pu au moins réunir des renseignements très intéressants, que je vais avoir l'honneur de vous soumettre.

Afin de constater les progrès des machines à vapeur depuis 1878, il est nécessaire de vous donner d'abord, aussi rapidement que possible, un aperçu de la situation générale de ces machines à l'Exposition universelle de 1878, puis de passer en revue les principaux types exposés. J'arriverai ensuite à l'Exposition de 1889.

La machine à vapeur était représentée à l'Exposition universelle de 1878 sous les formes les plus diverses et à tous les degrés de puissance ; cependant elle se caractérisait par le nombre assez considérable de machines à quatre distributeurs ; les machines les plus répandues étaient encore les machines à détente Meyer, à détente à cames Farcot, variable par le régulateur. Il n'y avait qu'un petit nombre de machines *compound* proprement dites à manivelles à 90°. Il était déjà à remarquer que les pressions s'élèvent graduellement au fur et à mesure que les détails de construction, et spécialement le graissage et l'art de faire les joints, se perfectionnent.

Les pressions ne dépassent guère 5 à 6 kilogrammes, mais tendent à augmenter.

Les vitesses de marche suivent une progression de même ordre ; une machine, exposée par la Société de construction de Winterthur, marchant à une vitesse de 100 à 200 tours, est déjà très remarquée. En général, il y a tendance à imprimer aux machines des vitesses de plus en plus grandes, l'exemple des locomotives, et à la suite des machines marines à hélice, ayant démontré que la vitesse n'entraîne nullement une diminution d'effet utile de la vapeur.

Une machine à mouvements rapides est plus coûteuse d'entretien qu'une machine lente, et s'use plus vite; mais elle est moins chère d'achat, à égalité de puissance, et elle occupe moins de place.

Les diverses articulations se font généralement d'une manière simple; on ménage avec soin le graissage et le rattrapage de jeu. Les antifrictions et les bronzes phosphoreux commencent à entrer en 1878 dans la pratique courante d'un certain nombre de maisons. Comme conséquence des grandes vitesses, alors en usage, il y a tendance à angmenter l'étendue des contacts entre pièces frottantes.

Pour la distribution, les lumières affectaient trois dispositifs principaux :

1° Quatre lumières, organisme compliqué, indépendance des fonctions, espaces nuisibles faibles ;

2° Deux lumières rapprochées à leurs orifices extérieurs et distributeur unique, distribution très simple comme organes, plus imparfaite comme fonctions, espaces nuisibles très grands.

3° Deux lumières courtes, organes en général plus simples que le premier dispositif.

Comme formes de bâti données aux machines horizontales, il y a déjà une tendance marquée par les constructeurs à adopter le bâti du type *Corliss*, c'est-à-dire le bâti forme *baïonnette*.

Nous allons citer les principales machines exposées, en nous basant sur le mode de distribution :

1° *Distributions par tiroirs et excentriques circulaires;*

2° *Distributions genre Corliss;*

3° *Distributions genre Sulzer;*

4° *Distributions par excentriques à ondes;*

5° *Distributions diverses;*

6° *Machines Woolf et compound.*

1° DISTRIBUTIONS PAR TIROIR ET EXCENTRIQUES CIRCULAIRES.

Cette distribution était encore et de beaucoup la plus usitée. Les grandes machines fixes étaient presque toutes à condensation, et leur distribution était compliquée.

Les distributions par tiroirs superposées étaient représentées à l'Exposition principalement par le type Meyer et le type Farcot.

La maison Farcot, ayant exposé une machine construite suivant cette distribution, cette machine, d'une exécution remarquable, résumait de longues et savantes études.

La Compagnie de Fives-Lille, et la maison Buffaud frères, de Lyon, exposaient des machines à distribution Farcot, d'une exécution supérieure et d'une grande élégance de formes; citons encore la maison Boyer et la maison Breval.

La maison Berr, de Belgique, avait exposé une grande et belle machine d'extraction avec recouvrement de marche et distribution Meyer; la maison Buffaud frères, de Lyon, en exposait également une d'une exécution fort remarquable.

A citer également la machine Duvergier, marchant avec une grande régularité d'allure, régularité obtenue au moyen de la distribution Meyer, légèrement modifiée.

2° DISTRIBUTION GENRE CORLISS.

Comme la construction de ces machines doit être supérieure, et l'entretien fait par des ouvriers expérimentés, à cause des organes qui sont un peu délicats, les machines Corliss, exposées en 1878, étaient généralement remarquables par le soin apporté dans le tracé des diverses pièces, dans le choix et le travail des matériaux, *qualités et conditions sans lesquelles ces machines, fonctionnant mal, n'auraient pas de durée.*

Plusieurs constructeurs avaient exposé des machines Corliss, ne différant que par des détails, des dispositions ordinaires; nous citerons entr'autres les maisons Le Gavrian et fils, à Lille; Corbran et Lemarchand, du Petit-Quevilly (Seine-Inférieure); Lecouteux et Garnier, de Paris, dont les expositions se faisaient remarquer par le fini de l'exécution et la perfection de l'ajustage.

On voyait encore un grand nombre de machines à distribution dérivée d'une façon plus ou moins directe du type Corliss.

La maison Cail et Cie, de Paris, exposait une fort belle machine du système Corliss, avec distributeurs circulaires, commandés par un déclanchement d'une disposition fort ingénieuse.

Outre sa machine à distribution par tiroirs, dont nous avons eu occasion de parler, la maison Farcot avait exposé deux puissantes machines horizontales du type Corliss, avec quelques modifications importantes dans les distributeurs circulaires.

La maison Wheelock, de Worcester, avait fourni la machine motrice de la section américaine. Cette machine était du type Corliss.

3° DISTRIBUTIONS GENRE SULZER.

Le système de distribution, créé par la maison *Sulzer frères*, de Winterthur, comportait quatre soupapes à deux sièges, deux pour l'admission, deux pour l'échappement. MM. Sulzer frères furent amenés, en 1878, à superposer à

leur système de distribution la détente par échelons. Ils exposèrent des machines de leur système, fort belles et remarquables à tous égards.

Plusieurs machines du type Sulzer, fort bien construites en général, étaient exposées par diverses maisons; nous citerons, parmi les plus remarquables, celles de MM. Escher, Wyss et Cie; de MM. Satre et Averly, de Lyon; de la Compagnie d'Anzin, etc.

4° DISTRIBUTIONS PAR EXCENTRIQUES A ONDES.

Nous citerons en premier lieu la machine compound, exposée par MM. Claparède et Cie, à Saint-Denis (Seine).

La maison Artige et Cie, de Paris, exposait une machine horizontale dont les tiroirs d'admission étaient actionnés par une paire de manchons à bosses, coulissant sur l'arbre de commande et déplacés par le régulateur.

Mentionnons encore la machine motrice de la Section belge, exposée par la maison Cail, Halot et Cie, de Bruxelles, comportant une distribution à quatre tiroirs plats mus par des cames.

5° DISTRIBUTIONS DIVERSES.

L'Exposition présentait un grand nombre de distributions diverses, plus ou moins originales et ingénieuses; quelques-unes fort intéressantes, comme étude de cinématique.

Une des machines, les plus intéressantes à ce point de vue, était celle de la *Société suisse pour la construction des machines de Winterthur*.

6° MACHINES WOOLF. COMPOUND.

Les machines à plusieurs cylindres, en 1878, étaient peu connues; il y avait une foule de problèmes obscurs : proportions des cylindres, mouvements des pistons, etc. L'Exposition portait l'empreinte de ces hésitations et présentait un grand nombre de systèmes différents de machines à plusieurs cylindres.

On pourrait diviser ces machines en deux grandes classes :

1° Celles dans lesquelles les deux pistons arrivent *en même temps* aux extrémités de leur course, et dont la distribution est disposée de telle sorte que la vapeur, au sortir du petit cylindre, entre directement dans le grand; on réserve assez ordinairement aux machines de cette classe la dénomination de *machines de Woolf*.

2° Les machines dites compound, dans lesquelles la vapeur, en s'échappant du petit cylindre, se rend dans un réservoir intermédiaire, d'où elle est puisée par la distribution du grand cylindre.

Dans les machines compound il n'y a *aucune relation nécessaire entre les mouvements des deux pistons* et ils peuvent arriver à bout de course, soit simultanément, soit à des moments différents.

Une machine Woolf remarquable par sa belle exécution était celle exposée par la maison Windsor et ses fils de Rouen.

Citons encore les machines de MM. Boyer, de Lille, Thomas Powell, de Rouen, Boudier frères, de Rouen, les unes et les autres fort bien entendues et construites.

Dans toutes ces machines, les deux cylindres étaient à enveloppe complète de vapeur ; la détente était fixe dans le grand cylindre ; dans le petit cylindre, la détente était variable par le régulateur.

Le système Woolf était appliqué à un certain nombre de machines horizontales, mais en général le mode de fonctionnement n'était pas tout à fait le même que dans les machines verticales, seul le moteur Woolf de la maison Hermann-Lachapelle faisait exception ; les deux cylindres étaient côte à côte et enveloppés dans une même chemise de vapeur, les deux pistons étaient attelés sur une traverse unique, sur laquelle était montée la petite tête de bielle. La distribution était obtenue par un seul tiroir, placé sur le côté du petit cylindre, distribution fixe au grand cylindre.

Les machines outils en mouvement dans la section anglaise étaient actionnées par une magnifique machine construite par la maison Galloway et ses fils, de Manchester, c'était une machine Woolf horizontale avec deux cylindres accolés agissant sur des manivelles opposées.

Cette machine, quoique à condensation, n'avait pas d'enveloppe de vapeur, ce qui était une exception.

MM. Boudier frères, de Rouen, exposaient également une machine Woolf horizontale, à manivelles opposées dont la distribution était obtenue par un tiroir unique, et la détente par un obturateur de l'arrivée de vapeur mû par déclenchement.

Dans la section Espagnole on voyait figurer une machine construite par la maison *Alexandre frères*, de Barcelone. Cette machine était du système Woolf avec cylindres verticaux en dessous de l'arbre de couche, les deux pistons étaient fixés sur la même tige et le petit cylindre appliqué immédiatement au-dessus du cylindre de basse pression.

Toutes les machines du *système compound* qui figuraient à l'Exposition, étaient à deux cylindres à action directe et se rapportaient à deux dispositions principales, suivant que les deux cylindres disposés côte à côte agissaient sur

deux manivelles calées à angle droit, ou qu'ils étaient placés sur le prolongement l'un de l'autre.

En dehors des avantages généraux de la détente par haute et basse pression, l'emploi de deux manivelles à 90° a pour effet de donner au moteur beaucoup plus de régularité qu'une manivelle unique, ce qui permet de rendre le volant plus léger sans nuire à l'uniformité de la vitesse.

MM. Weyher et Richemond, administrateurs de la Société de construction de Pantin, avaient exposé une machine fixe compound de 120 chevaux à deux cylindres placés côte à côte dans une enveloppe commune de vapeur, agissant sur des manivelles à angle droit.

Le Creusot exposait une belle machine verticale à deux cylindres, système compound, elle avait l'avantage d'être établie au complet au dessus du sol sur un simple bloc en maçonnerie. L'arbre moteur qui est l'organe le plus fatigué dans les machines, se trouvait dans la région la plus basse et conséquemment dans la partie qui offre le plus de stabilité.

L'appareil de condensation était en contre bas des cylindres ; la vapeur condensée et l'eau qui pouvaient être entraînées depuis les cylindres, trouvaient par là un écoulement naturel et facile, et les cylindres eux-mêmes étaient préservés ainsi de toute chance d'accident pouvant provenir des coups d'eau.

La vapeur venant des chaudières était reçue dans un premier cylindre dit cylindre d'admission ; après y avoir fonctionné, elle passait dans un second, où le travail s'achevait par détente et condensation.

L'admission de la vapeur aux cylindres était réglée par des tiroirs à introduction variable.

La machine exposée par la maison Claparède et Cᵉ présentait des qualités d'un ordre différent. C'était une machine compound horizontale à deux cylindres côte à côte dont la puissance, à la vitesse de 40 tours, était d'environ 150 chevaux.

Citons encore la machine horizontale à deux cylindres exposée par la Société de construction des Batignolles de Paris ; ainsi qu'une très belle machine horizontale à deux cylindres, présentée par la Compagnie des usines de J. et C.-G. Bolinder de Stockholm (Suède).

Les deux importantes maisons qui tenaient une place si considérable dans la section Suisse, Sulzer frères de Winterthur et Escher Wyss et Cᵉ de Zurich, avaient exposé l'une et l'autre une machine compound horizontale se ressemblant par plus d'un point ; les deux cylindres horizontaux étaient dans le prolongement l'un de l'autre, le cylindre à haute pression plus près de la manivelle ; ils étaient réunis par une forte pièce en fonte ; la distribution était du genre Sulzer et la détente variable avait lieu dans les deux cylindres.

Il existait dans les galeries et dans les annexes, un grand nombre d'autres machines fixes intéressantes soit par leur exécution, soit par leur conception, mais les quelques machines que nous venons de passer en revue peuvent être considérées comme représentant les principaux types en usage en 1878.

Exposition de 1889

Les modifications apportées à la construction des machines à vapeur depuis 1878 peuvent se rapporter à trois causes principales :

1° La nécessité d'avoir des moteurs puissants à rotation rapide, pour répondre aux besoins des usines productrices d'électricité ;

2° La production du cheval vapeur au plus bas prix possible par les diverses machines employées par l'industrie.

3° La nécessité d'avoir des machines très puissantes du plus petit volume possible et d'un faible poids.

Nous verrons pour la seconde catégorie de machines que nous examinerons, c'est-à-dire pour les machines marines qu'une autre considération a amené les ingénieurs à construire les chaudières et les machines de torpilleurs dans les conditions d'établissement des locomotives, pour avoir des machines puissantes et d'un faible poids.

Les machines fixes industrielles, sur lesquelles nous allons nous étendre en premier lieu, ont été modifiées et perfectionnées en vue des considérations que nous venons d'exposer.

La première chose qui frappe dans l'examen des machines exposées en 1889, c'est la vitesse de rotation qui atteint des valeurs qu'on n'avait pas cru pouvoir obtenir jusqu'à ce jour, soit en se plaçant au point de vue de la sécurité et de la résistance des pièces du mécanisme, soit en se plaçant au point de vue de la bonne utilisation de la vapeur.

Certaines machines puissantes marchent à 150, 200, 300 tours ! et plusieurs machines de 30 à 40 chevaux atteignent 4 et 500 tours !

La première conséquence de ces grandes vitesses, en dehors de la résistance des pièces employées dans le mécanisme, a été d'amener le graissage à une grande perfection.

Dans toutes les machines à grande vitesse, le graissage est assuré en marche par les godets graisseurs situés à la portée du mécanicien et portant l'huile sur les tourillons à l'aide de conduits à genouillères.

Le graissage à la graisse est appliqué à un certain nombre de machines à l'aide de graisseurs par pression du système Stoffer ou de dérivés (machines Berger-André du Phénix, Wheelock, etc.).

Le graisseur Consolin, le graisseur Bourdon à gouttes visibles sont très répandus et on peut dire d'une façon générale que les huiles minérales pures et mélangées de suif, d'huile de Colza, etc., ont remplacé à peu près partout l'huile végétale pure.

Nous devons signaler le graisseur central appliqué à une machine Sulzer et à une machine de Windsor, ainsi qu'à diverses autres machines.

Le tourillon est mis en communication par un tube creux avec une ampoule ayant le même centre que l'arbre moteur. Dans cette ampoule vient déboucher le tube d'un graisseur ordinaire à syphon ; l'huile en arrivant est chassée par la force centrifuge jusqu'au tourillon à graisser.

Le graissage dans les machines marines est d'une importance capitale au point de vue de la conservation des chaudières.

La condensation par surface ramène périodiquement dans la chaudière la graisse entrée dans les cylindres, de sorte qu'au bout d'une campagne la quantité de matières grasses contenues dans l'eau est très considérable. On sait que les pertes d'eau sont compensées par l'emploi d'eau distillée.

Avec le graissage ancien à l'huile végétale, on avait des corrosions très rapides des tôles et lorsque la production des chaudières fut poussée à ce qu'elle est aujourd'hui, on dût rapidement abandonner les graisses végétales pour arriver aux graisses minérales.

Ce procédé de lubrification donne encore lieu à des dépôts sur les ciels de foyers qui peuvent acquérir une très grande épaisseur, mais, qui, sous une forme pelliculaire de quelques dixièmes de millimètres isolent en quelque sorte le métal de l'eau et lui permettent d'atteindre la température du rouge.

Les expériences de M. Hirsch à ce sujet sont concluantes. On voit donc qu'il faudrait arriver à ne pas graisser les organes internes de la machine marine pour obtenir des tôles se conservant bien.

Lemploi des tiroirs cylindriques équilibrés diminue beaucoup la quantité d'huile à employer, mais cela n'est encore pas suffisant.

M. Normand a fait divers essais tendant à l'application d'un filtre à graisse à l'échappement et les résultats obtenus semblent justifier cette complication.

L'emploi des huiles minérales est encore fort répandu dans la marine pour le graissage du mouvement, mais c'est là une chose peu recommandable, car il a été constaté qu'il se faisait des rentrées de matières grasses dans la chaudière par les presses-étoupes.

Les machines Farcot, Lecouteux et Garnier, ont comme graisseurs un appareil à piston du Capitaine Leneveu. Le piston est mû par une roue tournant sur la tige filetée ; la roue est mise en mouvement par une vis attaquée par une roue à rochet qui reçoit elle-même son mouvement d'un petit pendule qui oscille sous l'influence du déplacement de la bielle motrice de chaque côté d'un plan vertical.

Les progrès obtenus dans la confection des joints, dans la construction des chaudières, grâce à l'emploi des riveuses hydrauliques et d'un métal supérieur, ont permis d'élever les pressions sans qu'on y ait trouvé d'autre inconvénient que la difficulté d'emploi des injecteurs au delà de 12 kilogrammes, difficulté résolue du reste par l'emploi de certains injecteurs.

Les machines fixes sont établies pour marcher à une pression voisine de 7 ki-

logrammes en général, et allant jusqu'à 12 kilogrammes (machines Biétrix); les chaudières des torpilleurs arrivent à 12 et 14 kilogrammes.

Quant aux locomotives, elles sont timbrées à 15 kilogrammes pour les machines compound P.-L.-M.; 14 kilogrammes, machines compound du Nord; 13 et 12, machines ordinaires de la Compagnie d'Orléans et de la Compagnie du Nord, et de 10 à 12 kilogrammes pour les machines belges et anglaises exposées.

En même temps que les pressions s'élèvent, les espaces morts diminuent; dans les locomobiles peu étudiées, ils atteignaient 15 %, que l'on peut considérer comme un maximum, puis on est descendu rapidement à 10 et 8 %, ce qui est encore le cas général des locomotives. Actuellement, les machines ordinaires en bon état, présentent 6 à 8 %, et les machines à quatre distributeurs ont de 3 à 6 %. L'Exposition de 1889 nous montre une machine à vapeur à distribution Stoppani, construite par M. Dyckhoff, à deux distributeurs, qui a 1,25 % d'espace mort.

A la question des espaces morts, se rattache intimement la question de la compression qui, seule, permet les grandes vitesses, en évitant les chocs à fin de course, et qui en même temps réchauffe les fonds de cylindre. Cet emploi de la compression, qui était autrefois limité presque exclusivement aux locomotives, est, on peut le dire, devenu la règle générale de toutes les distributions, sauf à varier d'importance avec la vitesse à obtenir.

En raison de la vitesse demandée aux machines, on a dû recourir à des vitesses de piston qui sont loin des limites classiques de 1^m50 à 2 mètres, qu'on s'imposait autrefois.

La vitesse de 3 mètres est courante; la machine à distribution Frikart à déclic atteint 4 mètres de vitesse de piston à la seconde, et les machines des torpilleurs ont une vitesse de piston de 5 à 6 mètres.

La machine réversible, des Laminoirs de la Société du Nord et de l'Est, a une vitesse de piston de 7 mètres, qui nous a été signalée par l'ingénieur en chef de la Société Cockerill, M. Kraft.

Ces vitesses sont admissibles, puisque, dans les locomotives à roues de 2 mètres, marchant à 100 kilomètres, vitesse journellement atteinte, on a des vitesses de piston en moyenne de $7^m,50$, et des vitesses maxima de $11^m,860$ au milieu de la course. Enfin, cette vitesse de 100 kilomètres à l'heure est encore dépassée dans certains cas.

Comme détail de construction des machines à vapeur, nous pouvons signaler l'emploi général du bâti Corliss *à baïonnette*, avec glissières ménagées dans la partie cylindrique qui vient se fixer au cylindre à vapeur par des boulons; le palier moteur est aussi généralement à réglage extérieur par vis, ce qui permet au fur et à mesure de l'usure, d'avoir toujours un réglage mathématiquement exact, sans avoir à faire le levage de l'arbre. Nous décrirons en détail celui de la machine Farcot de 1000 chevaux.

Nous devons également signaler l'emploi général de la chemise à vapeur pour les machines à grande détente.

Les cylindres sont construits avec fourreau rapporté en fonte dure, ce qui donne d'excellents résultats.

Nous pouvons également citer un détail de construction qui est fort répandu à l'Exposition de 1889 : c'est l'emploi de *tôles au bois* non peintes pour l'enveloppe des cylindres. Les machines Sulzer, Escher-Wyss, Carells, de la Société de Bâle, de la Société de Winterthur, etc., emploient ces tôles, qui sont d'un fort joli aspect et économisent la peinture.

Quant aux condenseurs, on les trouve toujours disposés de façons diverses, soit en tandem, soit en dessous, ces diverses dispositions répondant le plus sousouvent à des nécessités particulières.

M. de Quillacq a muni sa machin ecompound de deux condenseurs; cette disposition, qui lui a été demandée par l'arsenal de Lyon, permet la marche à condensation avec chacun des cylindres, en cas d'avarie.

Nous avons vu, qu'à l'Exposition de 1878, les machines fixes compound étaient en petit nombre, une dizaine tout au plus, et de puissance moyenne.

En 1889, au contraire, l'Exposition est caractérisée par l'emploi général de la machine compound. Il y a les 9/10 des machines exposées qui appartiennent à ce genre, et, de plus, un type semble prédominer d'une façon exclusive : c'est celui où les deux cylindres horizontaux sont parallèles et séparés par le volant. Chaque machine, en particulier, a tous les perfectionnemens actuels : bâti à *baïonnette*, distributeurs à déclic, etc. — C'est là *le type des machines motrices*.

Au premier type, appartiennent les machines de Quillacq, d'Escher Wyss, Sulzer, Carells, Compagnie du Phénix de Gand, Pernell; Berger-André, Olry et Granddmange, etc.

Les machines compound, type Pilon, à grande vitesse, pour lumière électrique, sont représentées en grand nombre : machines Weyher et Richemond, Farcot, Sautter et Lemonnier, Bréguet, d'Oerlikon, Sulzer, etc.

Faut-il conclure de là que la machine compound, avec distribution perfectionnée va s'imposer à l'industrie et être admise d'une façon exclusive? Nous ne le croyons pas; on doit à ce sujet faire entrer en ligne de compte l'avis des ingénieurs en chef d'associations de propriétaires de machines à vapeur, MM. Bour, Walther-Meunier, Compère, qui ont examiné la question avec une compétence indiscutable, et qui ont eu sous les yeux, dans les usines, des machines à leur état normal de fonctionnement. Nous donnons en note les conclusions de leurs rapports (notes A et B jointes au mémoire).

Les usines du Creusot, qui ont établi un grand nombre de machines à vapeur perfectionnées dans ces dernières années, construisent également des machines à déclic avec deux cylindres à vapeur fonctionnant en compound, et les ingé-

nieurs du Creuzot « pensent, que dans bien des cas, l'emploi de ces machines compound n'est pas avantageux. » Divers constructeurs ont la même opinion.

En prenant les meilleurs résultats obtenus avec des machines mono-cylindres et avec des machines compound, on trouve comme différence 1 kilogramme par cheval et par heure; cette différence peut diminuer et être anéantie par des perturbations très légères dans la distribution de la machine compound; les notes A et B en font foi.

Par conséquent, que reste-t-il à la machine Compound? A détente égale, une machine compound, de même force qu'une machine mono-cylindre, a son grand cylindre égal à celui de la machine à cylindre unique; le petit cylindre est donc un supplément de prix, d'achat, d'entretien, de graissage; on a l'encombrement de plus, des fondations importantes à construire; par contre, la régularité de la machine est plus grande.

Il ressort, de ces diverses considérations, que la machine compound ne s'impose guère que dans le cas où l'industrie à laquelle elle doit s'appliquer demande une grande régularité d'allure en même temps qu'un travail constant.

Nous devons signaler l'apparition de la machine à triple expansion comme machine fixe; la machine Theiss, et la belle machine à trois cylindres en tandem, exposée par la maison Sulzer; les machines Willans; les machines Farcot, Rebourg, Weyher et Richemond, etc..., et même la machine à quadruple expansion construite par la maison Powell, de Rouen, etc.

En dehors de ces machines, on voit un grand nombre de machines mono-cylindres à déclic; machines du Creusot, Brasseur, Lecouteux et Garnier; Fives-Lille, Dyckhoff, Farcot, etc...

Ces machines, comme les machines compound, servent dans les diverses stations d'électricité à mettre les dynamos en mouvement; mais, un grand nombre de types de machines spéciales à grande vitesse ont été créés, pour l'attaque des machines électriques, on peut les diviser en trois classes :

1° *Machines pilons simples* ou *compound;* machines *Weyher* et *Richemond*, *Farcot*, *Sautter* et *Lemonnier*, *Bréguet*, *Oerlikon*, *Lecouteux* et *Garnier*, etc.

2° *Machines horizontales à grande vitesse*, type Armington et Sims; machines de la Société de construction mécanique de Bâle (système Burgin), Lecouteux et Garnier.

3° *Machines compactes*, *Westinghouse*, *Weidnecht*, etc.

On peut y adjoindre le *turbo-moteur*, construit par MM. *Weyher* et *Richemond*, et quelques machines rotatives Bonjour, Minary, etc.

Nous pouvons, à propos des deux classes de machines à grande vitesse, décrire dès à présent deux types de régulateurs à force centrifuge, placés dans le volant, qui sont d'un usage très répandu actuellement, et qui permettent d'obtenir des allures, remarquablement régulières, aux plus grandes vitesses.

Le premier brevet pris par Hartwell, relatif à ce mode de régulateur, remonte à 1870, une machine fut construite en Angleterre par Turner, et un brevet ayant même objet fut pris en France par M. Raffard, en décembre 1871. Dès 1876, ce type se répandait en Amérique, mais ce n'est guère que depuis quelques années que la construction de types analogues s'est répandu en France.

A deux types peuvent se rapporter tous les autres.

1° Le plus répandu aux Etats-Unis est celui dû à M. Armington et appliqué aux premières machines Armington et Sims qui parurent.

Il se compose de pièces destinées par leurs variations de positions respectives à changer la détente par changement d'angle de calage tout en laissant l'avance à l'admission sensiblement constante ; la tige de commande du tiroir est attaquée par un collier d'excentrique entourant un excentrique en deux parties G et D. L'excentrique intérieur est fou sur l'arbre moteur et porte venue de fonte, une douille à oreilles; cette douille est reliée par les bielles I, I' à deux masses M et M' articulées en deux points du volant.

Tout mouvement des masses fait donc varier la position de l'excentrique sur l'arbre.

Ce premier excentrique est entouré d'un deuxième excentrique relié à l'une des masses M' par la bielle E, c'est ce second excentrique qui porte le collier.

Les pièces sont disposées de façon que, lorsque les contre-poids sont dans leur position interieure correspondant à un minimum de vitesse, le rayon d'excentricité de l'ensemble des deux disques C et D est donné par la ligne $O\,O_1$ et pour le maximum de vitesse par la ligne OO_2, OO_2 correspondant à une admission de 75 % de la course et OO_1 à une admission nulle.

L'avance à l'admission est constante pour tous les degrés d'admission.

Cette disposition donne donc tous les degrés de détente avec un seul tiroir.

2° Le régulateur *Lecouteux et Garnier*, dérivé du précédent, en diffère sensiblement par le détail.

Il n'y a qu'un seul corps d'excentrique faisant partie de la masse soumise à l'action de la force centrifuge. Cette masse M est soumise à l'action d'un ressort à pincettes et d'un frein à graisse demi-fluide F, formant cataracte ; l'excentrique est guidé dans son mouvement rectiligne par deux tiges cylindriques parallèles, et il est alternativement dirigé dans un sens ou dans l'autre soit par le contre-poids, soit par le ressort.

Pendant la marche, sous l'influence de la force centrifuge le contre-poids s'éloigne du centre, entraîne l'excentrique en tendant le ressort et le rayon d'excentricité OO' diminue.

On voit donc que le tiroir subit directement ces variations et par suite la détente faible à petite vitesse augmente avec l'accélération et prend une certaine valeur de régime en rapport avec le travail à effectuer.

Il y a beaucoup d'autres régulateurs, entr'autres le régulateur Proëll, le régu-

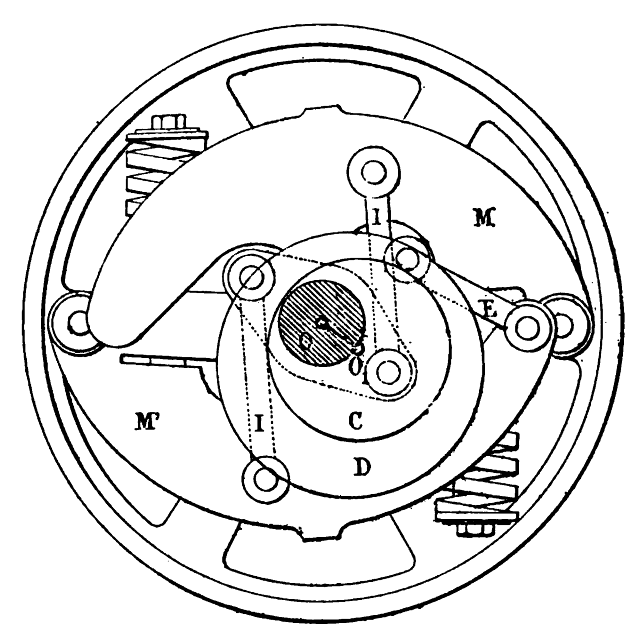


FIG. 1.—RÉGULATEUR ARMINGTON, POSITION INTÉRIEURE

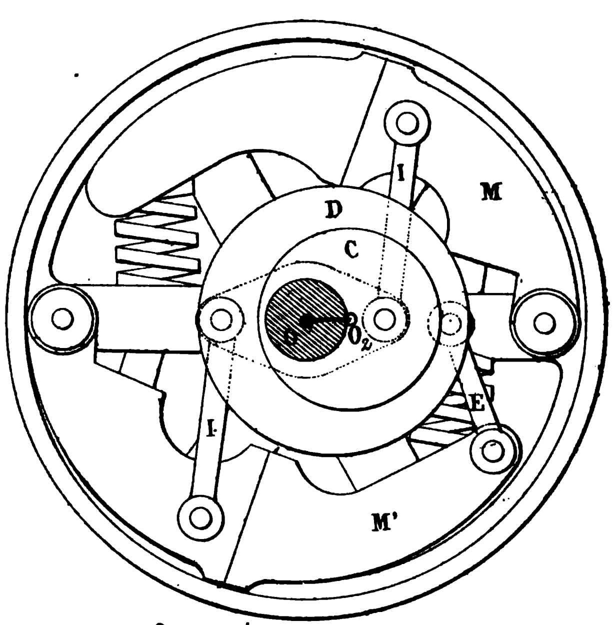


FIG. 2. — RÉGULATEUR ARMINGTON,
POSITION CORRESPONDANT AU MAXIMUM DE VITESSE

lateur Boulet dont les masses sont creuses et peuvent être plus ou moins alour-

dies, d'après le travail voulu, par l'addition de plomb, les régulateurs Dantel, Hadley, Buckeye, Oerlikon, Westinghouse, etc.

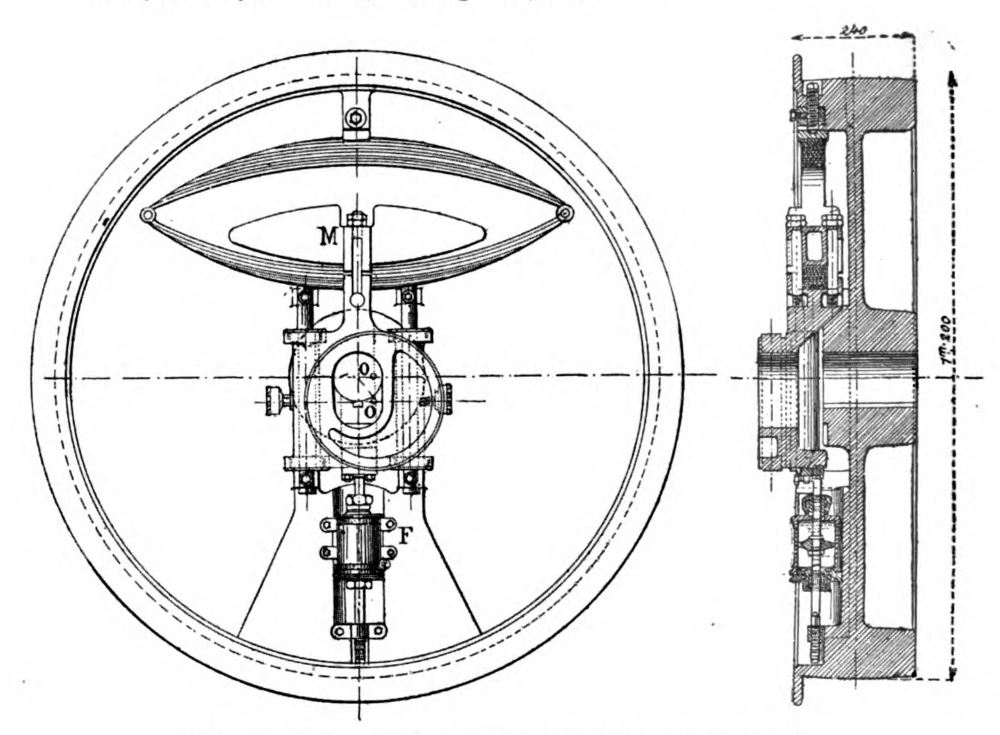


FIG. 3 ET 4. — RÉGULATEUR LECOUTEUX ET GARNIER

On voit que les anciennes distributions Meyer et Farcot (à cames) ne sont guère plus employées, la puissante machine de 1000 chevaux exposée par M. Farcot est à déclic, de son propre système.

Certains constructeurs ont remplacé dans des machines à déclic, le tiroir rotatif par un tiroir plat.

On peut citer :

Le nouveau type de machine *Wheelock* à distributeur à grille, construit par M. de *Quillacq*.

La machine de MM. *Casse* et *Fourlinnie* à quatre distributeurs plans.

La machine de la Compagnie de *Fives-Lille*.

La machine Brown de la section américaine.

La machine de la société Verviétaise, etc.

Les machines à soupapes sont toujours en faveur, et la maison Sulzer expose une soupape en bon état, après 15 ans de fonctionnement ; ce cas paraît un peu spécial et il nous semble difficile d'admettre les soupapes comme le meilleur organe pour les distributeurs.

La maison Biétrix expose un distributeur à boisseau en bon état, après 4 ans de fonctionnement et applique cet appareil à toutes les machines qu'elle construit.

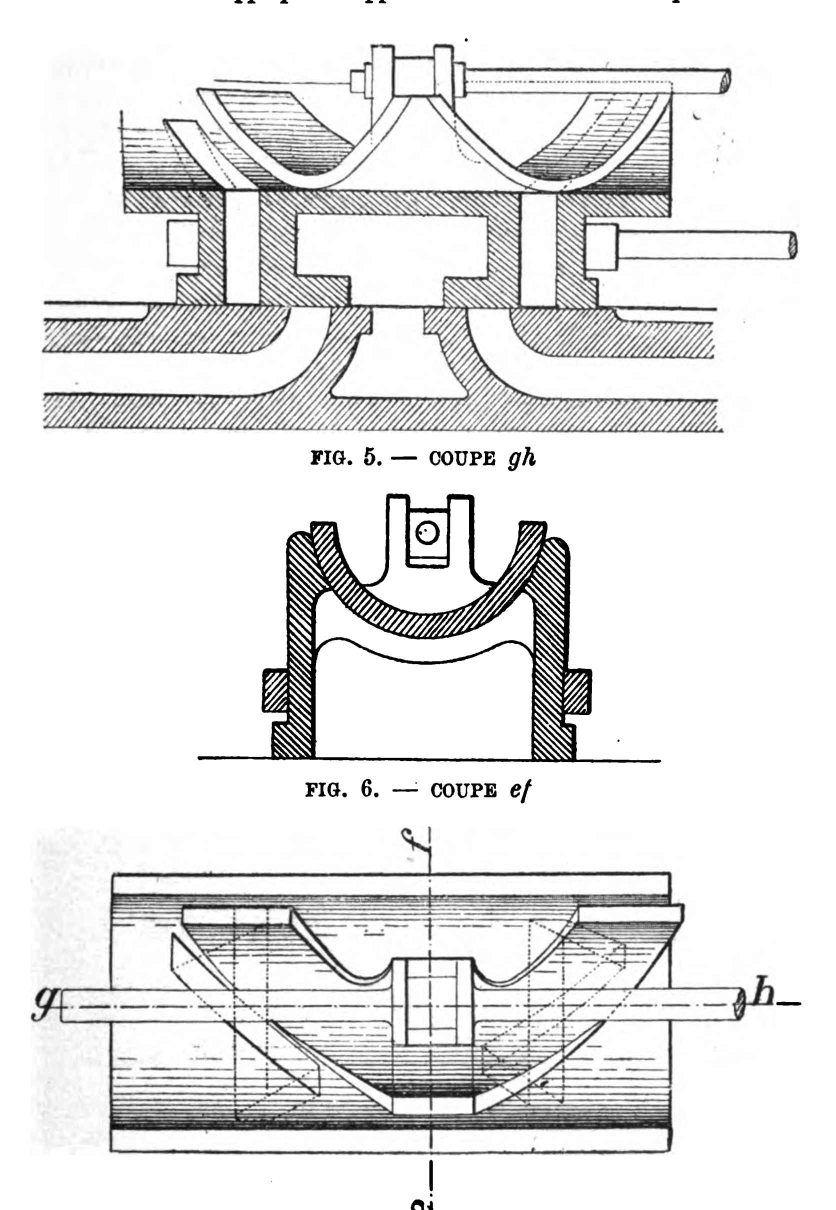


FIG. 5. — COUPE *gh*

FIG. 6. — COUPE *ef*

FIG. 7. — PLAN

La distribution Meyer modifiée par Ryder pour la rendre plus facilement réglable par le régulateur, est assez répandue, on la trouve appliquée à la Société

alsacienne de constructions mécaniques et à plusieurs machines suisses, à la machine exposée par M. Albert, aux machines construites par M. C. Bourdon ; nous en donnons le dessin, figure 5, 6, 7.

Dans certaines machines à grande vitesse on trouve des distributions spéciales telles que celles que nous décrirons pour la machine Armington et la machine Westinghouse à distributeurs cylindriques équilibrés et à mouvement alternatif; ces tiroirs cylindriques figurent dans un grand nombre de machines à grande vitesse, Oerlikon, Lecouteux et Garnier, etc., ou celle de la maison Mégy, à tiroir circulaire, à mouvement de rotation continu, comme le distributeur Biétrix, etc.

Au point de vue théorique nous pouvons signaler le beau travail de M. Dubost, ingénieur à la Compagnie de l'Est, sur le procédé destiné a obtenir une épure de distribution rigoureusement exacte, nous renvoyons à son intéressante communication faite au Congrès international de mécanique appliquée.

Au cours de ce travail nous donnerons le procédé Herlay, qui permet de faire l'épure d'une distribution par tiroirs avec plaque de détente, plus simplement que par le procédé de Zeuner, quoique dérivé de ce dernier dont l'emploi est maintenant à peu près général dans tous les bureaux d'études; nous signalerons aussi les travaux de M. l'ingénieur belge Cloeys, sur les tiroirs à plaques de détente.

Nous allons maintenant passer successivement en revue les types principaux des machines actuelles, dont la plus grande partie se trouvait dans le palais si remarquablement construit par mon collègue et ami M. Contamin ; nous appuierons davantage sur les machines présentant quelque nouveauté. Mais nous devons signaler ici la perfection atteinte par les divers constructeurs dans l'exécution mécanique des pièces des machines exposées, et qui montre à quelle hauteur s'est élevé l'outillage dont dispose actuellement l'ingénieur-mécanicien.

MACHINES A TIROIRS ORDINAIRES

Machine à un seul cylindre de la société de l'Horme, à détente Bonjour.

(Planches 1-2).

Cette machine est caractérisée par une distribution robuste et simple, du système Bonjour, qui a pour but de donner encore un bon mode de distribution de la vapeur, tout en n'employant pas la complication inhérente aux machines à déclic. Cette distribution ayant fait l'objet d'une très intéressante communication

de M. Bonjour, au Congrès de mécanique appliquée, nous y renvoyons pour plus de détails.

Le tiroir de distribution est ordinaire et commandé par un excentrique ; puis dans ce tiroir, un autre petit tiroir circulaire équilibré qui s'y meut de façon à produire la détente.

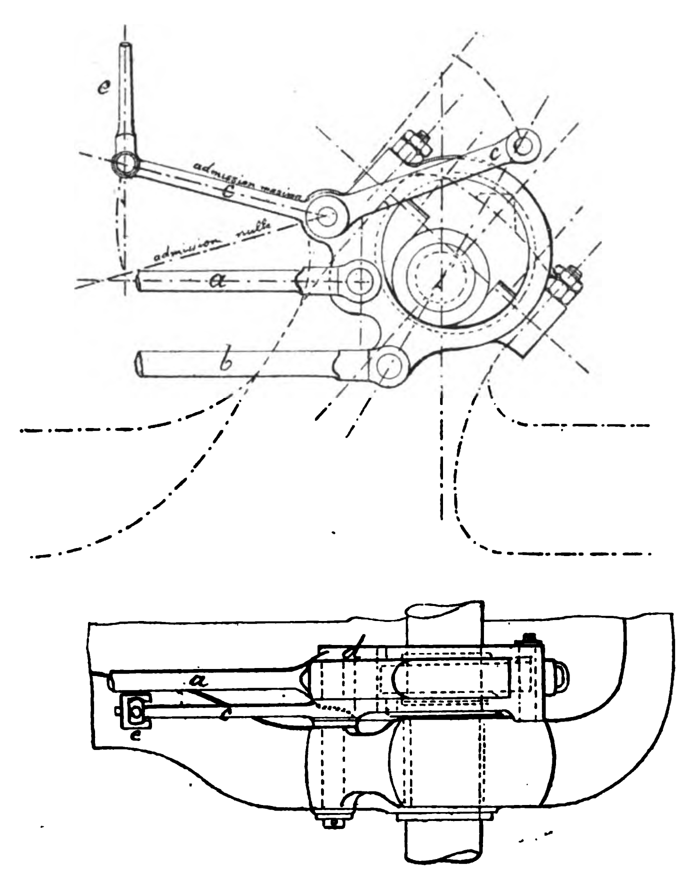


FIG. 8 ET 9. — DISTRIBUTION BONJOUR

C'est le même excentrique qui les commande tous deux, à l'aide des barres de commande *a* et *b* attachées en deux points différents de son collier.

Les variations de détente s'obtiennent à l'aide de deux leviers dont e mouvement combiné change l'orientation du collier de l'excentrique, sans influencer le mouvement du tiroir principal.

Un de ces leviers est relié à un régulateur qui commande les variations de détente.

Pour passer de l'admission nulle à l'admission maximum, l'oscillation du levier

c dit d'orientation, n'est que de 30°, et lorsque le régulateur est à sa position supérieure, les orifices du tiroir principal restant continuellement recouverts par le tiroir de détente, il n'y a plus d'admission.

Les glissières de cette machine sont à section circulaire. Le volant de la machine, en fonte d'une seule pièce, sert de poulie.

Le condenseur situé sur le côté est actionné par une bielle montée sur l'arbre moteur.

Cette distribution est simple et robuste et il est permis d'en espérer de très bons résultats.

a. — Bielle commandant le tiroir principal.
b. — » » » de détente.
c. — Levier d'orientation portant l'axe d'oscillation du levier de suspension D.
d. — Levier de suspension.
e. — Tringle du régulateur actionnant le levier d'orientation.

Machine de la Société de Gilly.

(Planches 3-4)

La machine exposée par la Société de Gilly, développe un travail de 75 chevaux. Le diamètre du cylindre est de 500 millimètres et la course de 800, elle marche à 70 tours par minute.

L'admission de vapeur se fait par une soupape ordinaire S équilibrée, à double siège ; le tiroir sert simplement pour régler l'échappement. Ce tiroir est mis en mouvement par une poulie excentrique et sa bielle. C'est sur cette bielle qu'est articulé le balancier communiquant le mouvement à la soupape. Ce dernier est composé d'une bielle et d'un levier, articulé à la partie supérieure du bâti du régulateur, de deux branches courbées B et B' de détente, qui suivent le susdit levier dans son mouvement de va-et-vient et butent par l'extrémité de leur plaque de toc (acier trempé) contre les leviers doubles, reliés à la soupape par une tige avec crossette variable.

Le régulateur R fait monter et descendre les deux boutons variables, qui arrêtent les branches courbées de détente, obligent celles-ci à se soulever ce qui forme le déclic.

Un cylindre à air placé sur la tige de la soupape, amortit la chute de celle-ci.

L'effort du régulateur étant pour ainsi dire nul, il s'ensuit de là qu'on obtient avec cette disposition une régularité parfaite.

La soupape S étant à double siège et sa section calculée pour avoir quelques

millimètres de levée, son fonctionnement est encore régulier pour les grandes vitesses.

Les glissières de cette machine sont à section circulaire. Le volant en fonte en deux morceaux, sert de poulie.

Cette machine est plutôt qu'un système spécial, l'adaptation d'une soupape aux machines ordinaires, car si on obtient la rapidité d'ouverture et de fermeture du déclic on conserve les espaces morts. Il est donc peu probable que cette machine donne en pratique des résultats supérieurs aux machines à tiroirs ordinaires.

Machine horizontale réversible de 3000 chevaux du Creusot.

(Planches 5-6)

Cette machine a deux cylindres horizontaux de $1^m,200$ de diamètre et de $1^m,50$ de course, elle est remarquable par sa puissance et sa simplicité.

L'admission est réglée à 0,75 de la course, pour permettre le démarrage dans toutes les positions, ce qui conduit à des dépenses de vapeur de 18 à 20 kilogrammes de houille par cheval et par heure ; malgré cette consommation élevée *le Creusot* a préféré établir cette machine à deux cylindres semblables et sans condensation, que d'adopter soit une machine Compound, soit une machine à condensation, ce qui eût diminué dans une certaine mesure les qualités essentielles demandées à une telle machine : la docilité et la facilité de renversement.

Cette machine a ses *tiroirs cylindriques* et le changement de marche est constitué par une coulisse droite d'Allen actionnée par un servo-moteur hydraulique.

Une soupape équilibrée à double siège sur laquelle agit le machiniste, sert à régler la pression et la vitesse de la machine pendant le laminage.

Cette machine actionne un train de tolerie destiné à la production des plaques de blindage avec des cylindres de 3 mètres de diamètre.

La machine marche à 75 tours.

Comme beaux résultats de laminage, on peut citer l'opération du 2 mai 1889, avec 4 kilogrammes correspondant aux diagrammes figure 10, qui donnent un travail de 3150 chevaux dans les cylindres ; on a laminé un lingot de 9500 kilogrammes, ayant 600 millimètres d'épaisseur en une plaque de 69 millimètres d'épaisseur, destinée à faire un blindage de pont de $2^m,745 \times 4^m,500 \times 0,069$ en une seule chaude en 62 passages aux laminoirs qui ont duré 15 minutes.

Nous donnons ci-après le *calcul des diagrammes.*

Pression : 4 kilogrammes

pression par centimètre carré correspondant aux ordonnées moyennes

AV	2 k. 91
AR	2 k. 72

Pression totale sur le piston

AV	$2.91 \times 11078 = 32200$ kil.
AR	$2.72 \times 11272 = 30800$ kil.

$$T = \frac{(32200 + 30800)\ 1.5 \times 75}{60 \times 75} = 1575 \text{ chevaux.}$$

et pour les deux cylindres 3150 chevaux.

Diagramme AV-------
Diagramme AR———

C'est également à ce train qu'ont été préparées les grandes tôles formant en même temps la poutre de résistance et la caisse des voitures à intercommunication de la Compagnie d'Orléans, dont un type figure à l'Exposition.

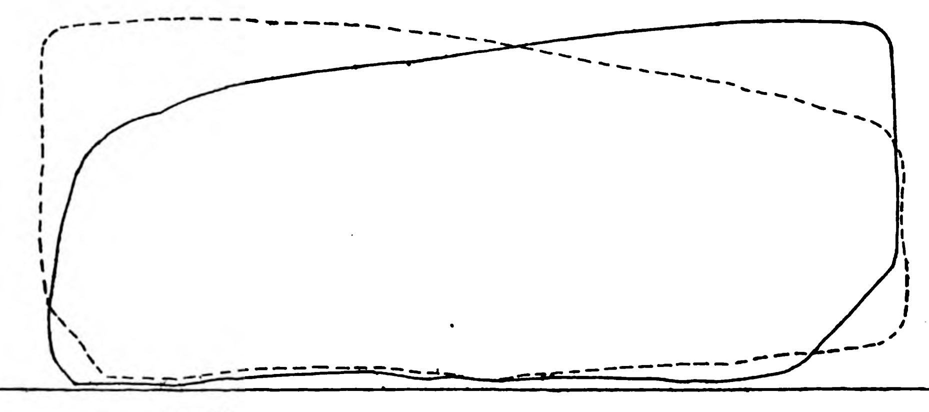


FIG. 10. — DIAGRAMMES PRIS SUR LA MACHINE RÉVERSIBLE DE 300 CHEVAUX DU CREUSOT

Ces tôles présentaient de grandes difficultés de laminage, elles ont, étant finies, les dimensions suivantes :

Longueur	17^{m},050
Largeur	1 ,127
Epaisseur	0 ,005

On est parti d'une plaque préparée ayant 1.200 × 1,400 × 0,080.

Le laminage a nécessité 21 passages.

Dès le 12me passage les cylindres se touchaient, la flexion des cylindres et la compression des pièces qui les maintiennent, produisant seules l'écartement nécessaire au passage de la tôle.

En raison de la grande longueur de la tôle, la vitesse de rotation de la machine dut être portée à 100 et 110 tours et par suite la vitesse moyenne du piston à 5^{m},250 par seconde.

Machines Burckhart de Bâle actionnant des compresseurs d'air

(Planches 7-8).

Ces machines à cylindre unique sont montées sur le même bâti avec le cylindre compresseur d'air, qui est accolé au cylindre à vapeur ou bien au tandem. Le diamètre du cylindre est de 330 et la course 350. La distribution, variable par le régulateur, est du système Ryder.

Les glissières sont à section circulaire. Le volant-poulie est en deux morceaux.

Le graissage est assuré par les graisseurs Weiss.

Ces machines bien étudiées, compactes, sont fort bien exécutées.

Pompe Worthington

Ces machines sont caractérisées par l'absence de mouvement de rotation et d'excentrique pour conduire la distribution.

La machine type se compose de deux cylindres à vapeur accolés et situés face à face avec les cylindres des pompes. Chaque piston à vapeur a donc sa tige commune avec le cylindre à eau



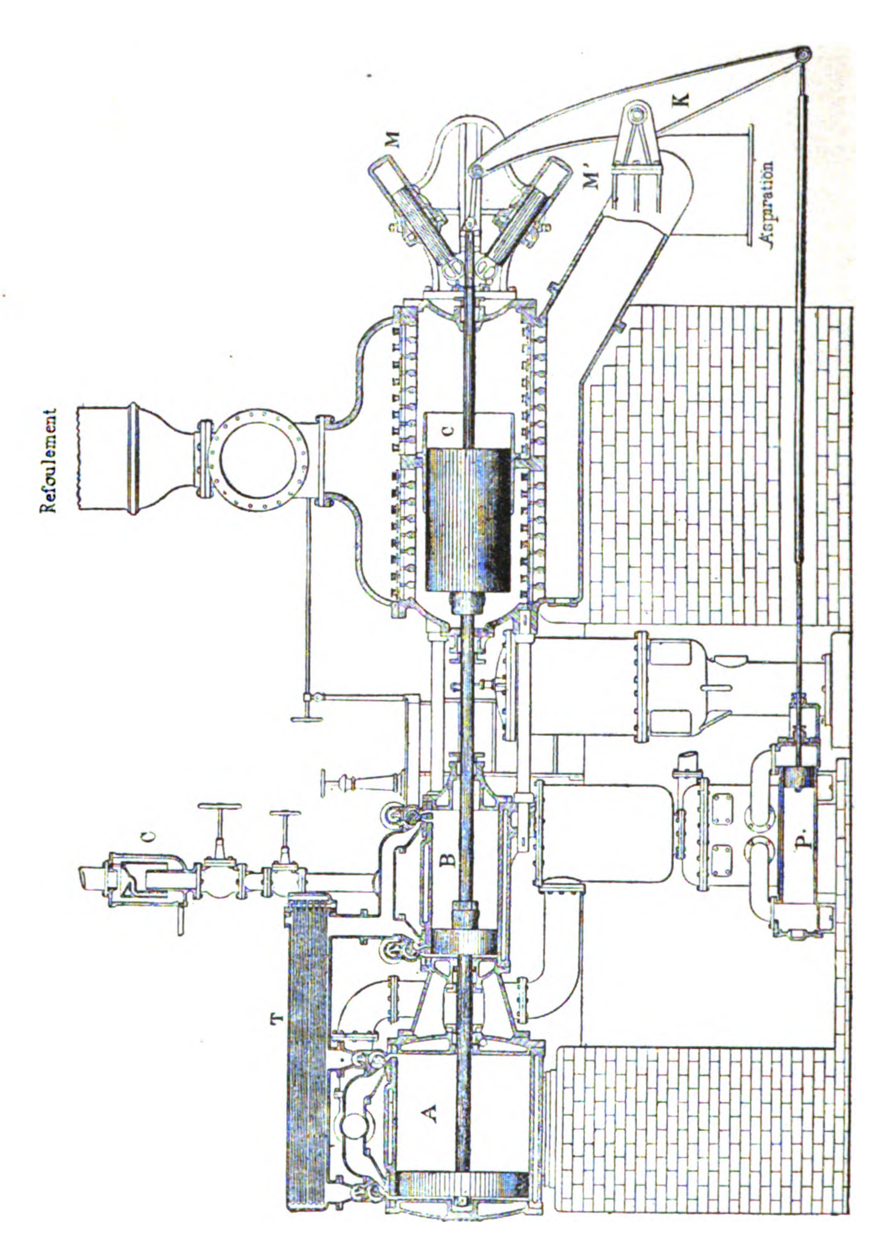


FIG. 11. — POMPE WORTHINGTON

A l'aide d'un double levier à équerre, la tige des pistons de droite actionne la distribution de gauche et réciproquement. De cette façon on démarre dans toutes les positions.

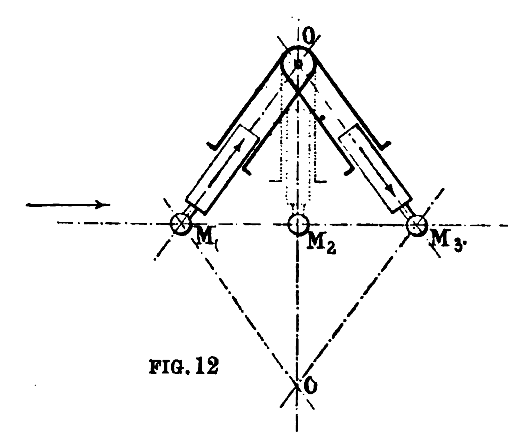


FIG. 12

Ces pompes d'un usage très répandu en Amérique et en Angleterre donnent de bons résultats.

Ce sont deux pompes semblables de grand modèle qui montent l'eau au sommet de la Tour Eiffel, pour actionner l'ascenseur Edoux.

Locomobiles

Les machines locomobiles forment le plus grand nombre des machines à tiroirs ordinaires.

Il faut citer toutes les maisons françaises qu'on retrouve au cours de ce travail qui construisent des locomobiles simples ou compound.

Nous citerons également la locomobile de 80 chevaux, de la maison belge Cail et Halot, qui pêche un peu par le manque de stabilité.

La locomobile de 8 chevaux, de la maison Piroult de Bruxelles dont la machine reposant sur la chaudière est fixée par un nombre de boulons très restreint.

Les locomobiles Gausset, etc., et les machines Davey et Paxmann, Aveling et Porter, en Angleterre, etc.

MACHINES A QUATRE DISTRIBUTEURS

Machine Corliss horizontale exposée par le Creusot

(Planches 9-10)

Cette magnifique machine, d'une exécution mécanique parfaite, développe un travail de 400 chevaux.

Elle est munie de la distribution Corliss de 1879, à plateau dit *araignée*, dont les bras actionnent les distributeurs à l'aide de quatre bielles.

La machine qui figure à l'Exposition est différente des nombreux exemplaires qui fonctionnent par ses dimensions plus grandes.

Diamètre du cylindre . . .	0^{m},750.
Course du piston	1^{m},400.

Les obturateurs d'échappement ont été abaissés par rapport à leur position primitive, de façon que ces obturateurs ne soient pas exposés à être rencontrés par le piston dans le cas d'une manœuvre du mécanisme de distribution à la main au moment du démarrage ; cette disposition augmente un peu, il est vrai, les espaces morts.

Cette machine a une enveloppe de vapeur d'une capacité plus étendue que celle des machines précédentes ; les pistons de rappel des obturateurs d'admission et la cataracte du régulateur sont placés au-dessus du sol. Le condenseur est en tandem.

Le régulateur employé est le régulateur à grande vitesse de Porter. Le degré d'isochronisme est donc augmenté et les variations de force vive radiale des boules et les oscillations qui en sont la conséquence ont été atténuées.

Le régulateur est en outre rendu plus sensible par la suppression de la came et son remplacement par un système de leviers, qui permet toujours d'obtenir l'arrêt de la machine en cas d'arrêt accidentel du régulateur.

Ces machines sont munies d'une pompe qui refoule dans la chaudière l'eau condensée dans les enveloppes et dans les tuyaux d'arrivée de vapeur. Les glissières sont à section triangulaire. Les patins sont à garniture de métal blanc. Le boulon de crosse est à graissage central.

D'après les nombreux essais faits sur ce type de machine, on peut compter sur une consommation de 7^{k},500 de vapeur par cheval et par heure.

Au point de vue de l'exécution matérielle de cette machine, on peut la dire parfaite.

Machine Corliss verticale du Creusot

(Planches 11-12)

Cette machine est du *type Pilon* à un seul cylindre et à condensation.

Le système de distribution et de déclic est le même que celui des machines horizontales. La pompe à air verticale est à simple effet et est commandée par un balancier relié à la tête du piston à vapeur.

Les quatre colonnes qui supportent le cylindre et qui reçoivent les glissières sont creuses et à section rectangulaire ; elles sont solidement fixées à la plaque de fondation qui porte le palier moteur ; elles sont en outre parfaitement reliées entre elles dans tous les sens et forment un tout extrêmement rigide.

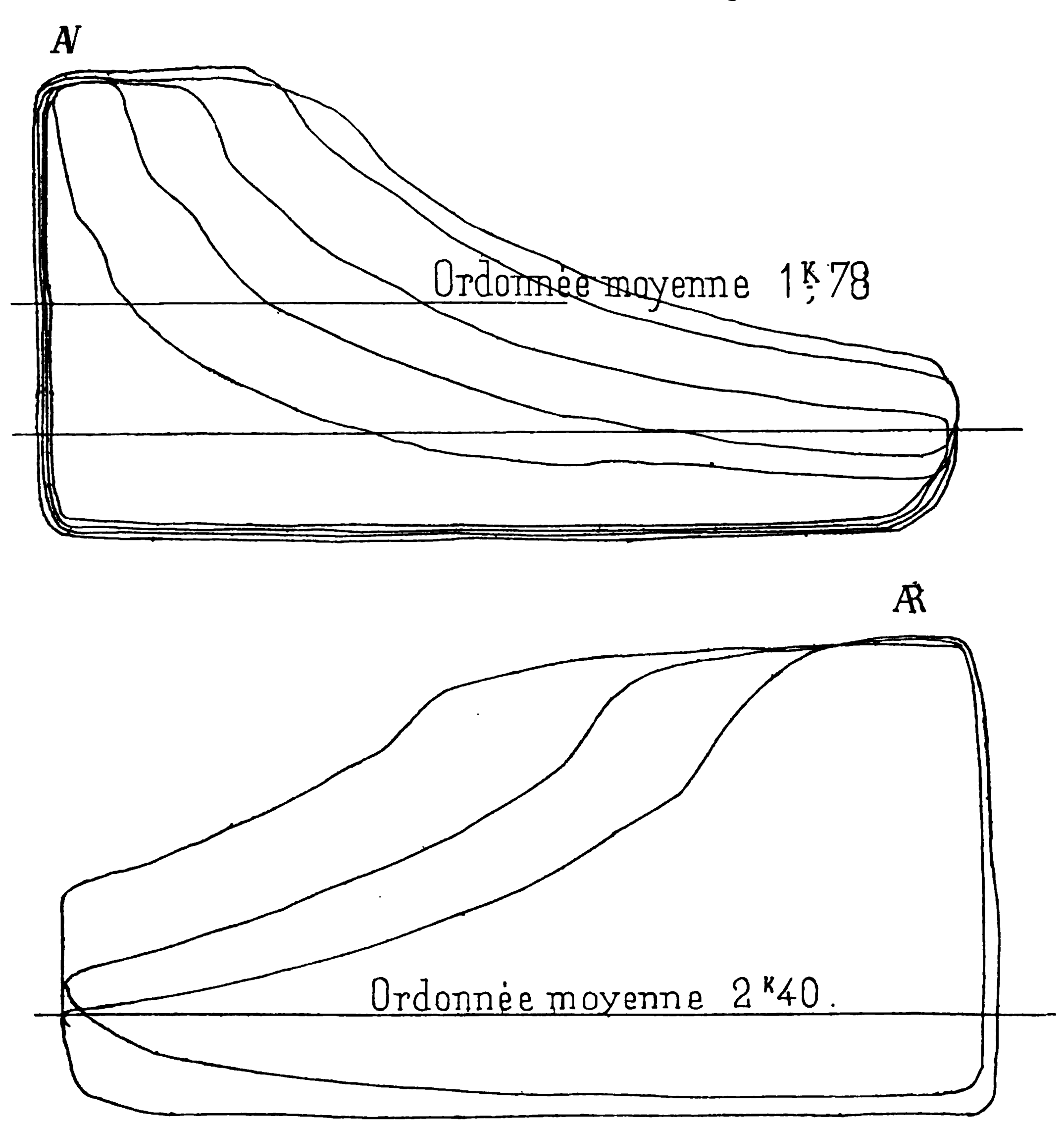


FIG. 13 ET 14. — DIAGRAMMES PRIS LE 7 MARS 1889
SUR LA MACHINE CORLISS VERTICALE DU CREUSOT.

A 70 tours par minute, cette machine développe 900 à 1000 chevaux, la vitesse du piston est de $3^{m},730$ par seconde.

Ces machines présentent bien des avantages pour la conservation des cylindres, garnitures, tiges et au point de vue de l'emplacement, mais elles sont par contre d'un coût plus élevé à cause de l'importance très grande des bâtis et des plaques de fondation.

Le Creusot, l'usine de Fourchambault, de Dombrowa, possèdent ce type de machine qui pourrait être utile pour les stations centrales d'électricité.

Le diamètre du cylindre est de 1 mètre, la course du piston $1^m,600$.

Cette machine est construite pour marcher de $3^k,500$ à 4 kilogrammes.

Les diagrammes ci-dessus, relevés le 7 mars 1889, montrent quels efforts différents la machine a à vaincre pendant l'opération du laminage et aussi la façon régulière dont le régulateur modifie la période de pleine admission.

Machine Windsor mono-cylindre

(Planches 13-14)

La machine exposée par M. Windsor est du système horizontal, à un seul cylindre, à détente variable par le régulateur; elle fonctionne à haute pression avec échappement à air libre ou condensation.

Les organes de distribution de vapeur, employés dans cette machine, sont du même système que ceux de la machine à deux cylindres compound.

La forme du bâti et enfin tout l'ensemble de ce moteur se rapprochent aussi sensiblement de ce type que nous décrirons plus loin.

Le cylindre est également rapporté dans une enveloppe de circulation de vapeur, revêtue d'une enveloppe en bois garnie de calorifuge.

Cette machine est de 100 chevaux.

Diamètre du cylindre $0^m,457$.

Course du piston 1 mètre.

Vitesse de régime 70 tours par minute.

Le volant de la machine est construit en deux pièces, il a un diamètre de $4^m,500$ et porte 8 gorges pour transmettre la commande par câbles.

Les glissières sont à section circulaire. Le boulon de crosse est à graissage central. La bielle motrice est munie d'un graisseur pendule.

Machine Corliss de la Maison Lecouteux et Garnier

(Planches 15-16)

La machine motrice de 150 chevaux et les deux machines développant 500 chevaux à l'une des stations d'électricité du Champ de Mars sont du type Corliss,

modifié par MM. Lecouteux et Garnier, qui ont pu porter l'admission maximum aux 8/10 de la course du piston.

La machine de 150 chevaux fonctionne à 5 kilogrammes et tourne avec une vitesse de 65 tours à la minute, avec une introduction de 1/8; la machine est à condensation et la pompe à air à simple effet est placée à l'arrière du cylindre et conduite par le prolongement de la tige du piston. Le cylindre est en trois pièces, une enveloppe en deux parties et une chemise intérieure. Chaque partie de l'enveloppe renferme une boîte circulaire pour l'admission et une pour l'échappement comme Sulzer. La réunion de ces deux enveloppes se fait *au centre*, disposition spéciale, par deux brides tournées, rodées l'une sur l'autre et boulonnées après emmanchement à chaud de la chemise intérieure. La section des glissières est triangulaire et le jeu peut se rattraper sans démontage à l'aide de vis. La bielle motrice est munie du graisseur pendule Leneveu. Les graisseurs Chatel à gouttes visibles sont employés pour les obturateurs d'admission.

La distribution Corliss a été modifiée intelligemment par MM. Lecouteux et Garnier.

Pour un travail essentiellement variable comme celui d'un laminoir, d'une scierie ou même d'une station centrale d'électricité, le moteur est appelé à passer d'une force presque nulle à une force très grande ; il a tendance au ralentissement. Le régulateur dont la course est avec raison relativement petite, s'abaisse brusquement et la vapeur est introduite en pure perte d'un bout à l'autre de la course du piston. La machine reprend une allure précipitée et le régulateur, revenant à sa position primitive, donne lieu pendant quelques instants à un balancement fort désagréable, très dangereux, provenant de la disproportion entre la puissance et la résistance. Pour remédier à cet inconvénient il fallait donc chercher un moyen d'éviter les sauts brusques d'introduction et de passer par tous les degrés de la détente proportionnellement à l'effet à vaincre ; en un mot, il fallait augmenter l'élasticité de la machine.

C'est ce qu'a fait *Corliss* dans ses nouveaux types de 1880 et de 1885, et c'est le perfectionnement qui a été appliqué en 1883 à sa machine de 1868 par la maison Lecouteux et Garnier (fig. 6, 7 et 8).

La brimballe C est munie d'une troisième touche I, placée entre les deux autres, présentant à sa partie inférieure une contrepente opposée à celle des palettes A. Ces palettes sont aussi munies d'un taquet E monté sur un axe de telle façon que, lorsque le porte-ressort se déplace dans le sens habituel où s'opère le déclenchement, ce taquet puisse osciller et s'effacer pour ainsi dire au contact de la touche I; puis, lorsque le porte-ressort revient en arrière, le taquet E se redresse et s'engage sous la touche I. On conçoit alors que, selon la position en hauteur de cette touche, le déclenchement puisse s'opérer dans le mouvement de retour du porte-ressort. C'est ce mouvement de retour qui a permis de porter

l'introduction de vapeur jusqu'aux 8/10e de la course du piston, en passant par tous les degrés intermédiaires.

La distribution primitive de Corliss présentait un inconvénient : si, pour une cause quelconque le régulateur cessait de fonctionner et tombait au bas de sa course pendant la marche, la machine risquait de s'emporter et pouvait donner lieu à de graves accidents.

On a paré à ces risques en prolongeant les palettes de déclenchement en arrière de leur plan incliné par une autre pente A'.

La brimballe étant munie de deux talons B, placés à l'opposé des touches de déclenchement par rapport à son axe d'oscillation, bascule sous l'action du régulateur qui touche à fond de course et vient appuyer sur les contrepentes A' des palettes ; celles-ci, se trouvant soulevées, ne peuvent plus entrer en contact avec les pièces de commande des tiroirs qui restent alors fermés, et la machine s'arrête d'elle-même.

Les grands ressorts plats de Corliss pour la fermeture rapide des tiroirs d'admission ont été gardés de préférence aux tiroirs à air et à vapeur.

Voici le résumé des essais au frein de Prony et à l'indicateur de Watt faits à Romilly sur une machine Corliss de 80 chevaux, construite par MM. Lecouteux et Garnier.

Durée de l'expérience	8 heures.
Nombre de tours par minute	50
Pression dans la chaudière.	5 k. 85
— à l'admission	5 k. 35
— au condenseur en millimètres de mercure	50 m/m
Température de l'eau à la sortie du condenseur. .	25°
Degré d'admission	1/12^e
Travail par seconde pour les deux faces du piston	95 ch. 78
Travail sur l'arbre	80 ch. 9
Rendement	84,60 %
Nombre de diagrammes relevés	78
Volume de vapeur vaporisé en huit heures . . .	4695 litres
Température moyenne de l'eau d'alimentation . .	15°
Consommation moyenne de vapeur par cheval indiqué et par heure	6 k. 127
Consommation par cheval sur l'arbre	7 k. 254

Cette machine est robuste et doit être d'un emploi très pratique.

Machine à balancier oscillant de MM. Fourlinnie et Casse

(Planche 17)

Cette machine a été construite dans le but de supprimer le parallélogramme de Watt, et d'avoir ainsi une attaque directe du balancier par la tige du piston.

Ce système a l'avantage de réduire la hauteur de la machine.

La machine exposée au Champ de Mars est double jumelle avec manivelles à 90°; les cylindres verticaux sont reliés très solidement au bâti, et leur distribution est à déclic, mais avec tiroirs plans. Le condenseur est dans le sous-sol.

Ces cylindres sont à enveloppe de vapeur vive; l'enveloppe peut recevoir la vapeur à 1/2 kilogramme de plus que l'admission, de sorte qu'on peut graisser avant la mise en marche avec un graisseur continu à con densation, ce qui est assez avantageux; ce graisseur étant en communication avec l'enveloppe qui reçoit la vapeur à l'avance, on évite ainsi les condensations habituelles de la mise en marche.

Les dimensions principales sont :

Diamètre des cylindres	$0^m,630$
Course.	$1^m,360$
Vitesse de rotation	52 tours.
Vitesse du piston.	2,357
Lumières d'admission, 62 × 300	$0^{m2},0136$
Lumières d'échappement 70 × 310	$0^{m2},0217$
Diamètre du condenseur à double effet	$0^m,300$
Course.	$1^m,360$

Le volant est en deux parties.

Nous devons signaler la disposition originale du régulateur à air de cette machine; on peut lui reprocher les défauts inhérents aux machines à balancier; les masses en mouvement sont encore plus considérables que dans les machines à balancier ordinaire, et, en résumé, cette machine est assez oompliquée.

Machine à quatre distributeurs à soupapes exposée par la Société de construction de la Meuse

(Planches 18-19)

Cette machine a son cylindre complètement entouré de vapeur, enveloppe et plateau d'avant et d'arrière, ainsi que les soupapes d'admission, comme on le voit par le dessin, planches 18-19. Elle développe un travail de 80 chevaux.

La vitesse du régulateur est variable, grâce à l'emploi d'embrayage à plateau de friction, et le système du régulateur permet d'augmenter ou de diminuer rapidement et facilement la vitesse de régime de la machine sans toucher à la distribution.

Le mécanisme de distribution est très léger.

Les pistons à air sont sur la tige même des soupapes. Cette machine a le système de lubrification Stopfer, à la graisse, et le boulon de crosse est à graissage central.

L'avance à l'échappement et la durée de compression sont réglées par le calage de l'excentrique et des leviers de commande. La durée d'admission et de détente est variable automatiquement par un régulateur à boules.

Nous joignons, figure, 15 et 16, page suivante, un dispositif employé par la Société de la Meuse, pour faire varier, à l'aide de la disposition très simple du plateau d'attaque, le degré de compression pour cylindre à basse pression.

Cette machine, grâce à sa grande vitesse, peut développer un travail de 80 chevaux pour lequel ses organes semblent peu robustes.

Machine de la Compagnie de Fives-Lille

(Planches 20 à 23)

Cette machine horizontale est à condensation, à quatre distributeurs et à tiroirs plans ; elle a un cylindre de $0^{m},550$ de diamètre et de $1^{m},100$ de course.

Les principaux perfectionnements apportés à cette machine sont relatifs au mécanisme de distribution qui se compose de deux tiroirs à glace plane, spéciaux et à mouvement rectiligne, soustraits momentanément à l'action de l'excentrique de commande, et fermés brusquement au moyen de ressorts.

La commande de la distribution se fait par l'intermédiaire d'un arbre coudé placé transversalement au milieu du cylindre, et reposant par ses deux extrémités sur les supports à douille. Cet arbre reçoit un mouvement oscillatoire qui lui est transmis par l'extrémité de la barre d'excentrique de distribution, attelée à la partie coudée de l'arbre, entre les deux supports.

Les chariots des leviers de déclic sont entièrement guidés dans des glissières fixes. Ils sont actionnés par des bielles articulées symétriquement sur l'arbre de distribution.

La symétrie de ces pièces égalise les effets des dilatations auxquelles elles sont soumises.

Chaque tiroir d'admission est emboîté dans un cadre à douille assujetti sur la tige. Un petit ressort, fixé à l'extérieur du cadre, maintient le tiroir appliqué

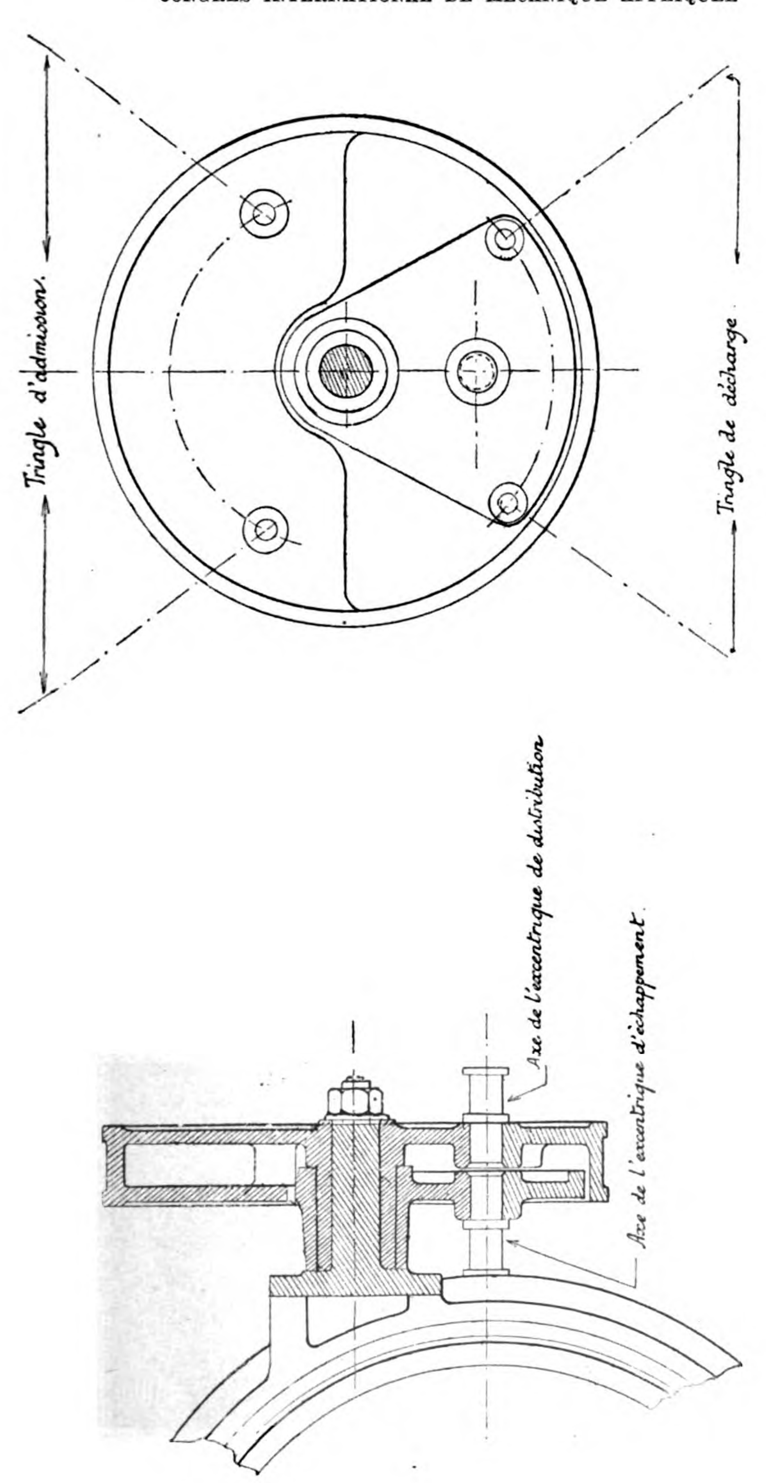


FIG. 15 ET 16. — MACHINES DE LA SOCIÉTÉ DE CONSTRUCTION DE LA MEUSE

sur sa glace. Les glaces des tiroirs sont aussi rapprochées que possible de l'axe du cylindre pour éviter les espaces nuisibles, et les lumières sont doubles, afin de réduire la course des tiroirs.

La poussée des tiges des tiroirs d'admission se fait par des talons à déclic armés d'une platine en acier trempé et placés à la partie supérieure des tiges. Les doigts de ces talons à déclic viennent, dans le mouvement de recul, buter sur leur chariot, et évitent ainsi un choc répété des talons sur les coulisseaux des tiges des tiroirs, en même temps que l'usure des platines. Le déclenchement des talons est commandé par le régulateur.

Le rappel des tiroirs est obtenu au moyen d'un piston à air constamment poussé de l'extérieur à l'intérieur par un ressort en spirale, dont on peut faire varier la tension en vissant ou dévissant le fond de la boîte qui le contient.

Chaque coulisseau de tige de tiroir porte deux prolongements à crochets destinés à ramener le tiroir à sa position de départ, dans le cas où, accidentellement, le ressort ne l'aurait pas conduit à fond de course.

Les tiroirs d'échappement, disposés de façon à éviter les espaces nuisibles, sont placés à la partie inférieure des cylindres, ce qui permet d'obtenir une purge complète des vapeurs condensées.

Ces tiroirs peuvent être commandés par un excentrique spécial ou par une came fixée à la tête de piston.

Le tuyau, réunissant les boîtes à tiroir d'échappement, est muni d'un joint de dilatation.

L'épure (figures 22-23) permet de voir les diverses phases de la distribution.

Les glissières sont planes, et la crosse est munie de coins de rattrapage.

Le graissage est assuré par des graisseurs Degremont, et le cylindre est muni d'un oléomètre Bourdon.

Le mouvement du condenseur est pris sur un boulon placé en arrière de la tête de bielle motrice.

Cette machine est fort bien construite. Le mécanisme de distribution nous semble un peu compliqué, et on peut se demander si les avantages des tiroirs plans, par rapport aux obturateurs tournants, le justifient.

Machine Farcot à quatre distributeurs à volant de 10 mètres

(Planches 24 à 29)

Ce magnifique spécimen de construction mécanique peut développer un travail de 500 à 1300 chevaux.

La machine horizontale à condensation a un cylindre de 900 millimètres de diamètre.

Le bâti à baïonnette, d'une seule pièce, pèse 19 000 kilogrammes. Les glissières sont cylindriques, et la crosse du piston est à rattrapage de jeu, grâce à un collier conique, qu'on peut serrer plus ou moins, et qui est placé entre la crosse et le patin.

La machine est lubrifiée à l'aide de graisseurs à gouttes.

Le volant peut être mis en mouvement, avant le démarrage, et dans le but de faciliter celui-ci, à l'aide d'un treuil agissant sur une couronne dentée dont le volant est muni. L'embrayage est produit par le poids du corps de l'homme qui fait la manœuvre.

Le cylindre est entouré d'une enveloppe où circule la vapeur avant d'entrer dans les cylindres. Les robinets d'admission étant dans les fonds, on a là aussi des surfaces à l'abri du refroidissement. L'enveloppe est rapportée. Le régulateur employé est du type Farcot, à bras et bielles croisés, aujourd'hui universellement apprécié. Ce régulateur permet en outre de mettre en marche, aussi progressivement, et d'arrêter aussi vite qu'on le désire. L'arrêt s'effectue en enlevant à la main le régulateur, au moyen d'un volant à main spécial, ce qui supprime toute introduction. L'arrêt est donc immédiat, la vapeur contenue dans l'enveloppe et dans le fond se trouvant isolée du cylindre, ce qui n'a pas lieu pour les machines qu'on arrête en fermant le robinet de prise de vapeur.

La disposition actuelle, qui diffère pour les grandes admissions du type primitif de déclic Farcot, fonctionne ainsi, comme on le verra :

Le mouvement continu d'oscillation, imprimé par la barre d'excentrique A au plateau *b* (voir la vue d'ensemble), est transmis par la bielle *c* au levier *d* (voir les détails de la distribution pour tout ce qui va suivre). Le levier *d* est fou sur l'extrémité de l'axe du tiroir d'admission; il porte à sa partie inférieure la pédale d'enclenchement F contamment sollicitée vers l'axe du tiroir, au moyen d'un ressort intérieur.

Sur le même axe du tiroir est calée une manivelle *g* sur laquelle agit le ressort de fermeture, et dont le moyeu présente à côté du levier D un grain d'acier *h* correspondant au grain *j* de la pédale F. On comprend aisément que le tiroir se trouvera entraîné ou non dans le mouvement d'oscillation du levier D, suivant que les grains d'acier *h* et *j* seront en prise ou non l'un avec l'autre.

Pour faire cesser cet entraînement, à un moment donné il suffit de forcer la pédale F à s'écarter de l'axe du tiroir, en neutralisant l'action du ressort intérieur qui tend constamment à l'en rapprocher.

Ce déclenchement est produit par deux cames en acier, K, K', placées à l'extrémité du support de la distribution et susceptibles de prendre diverses positions par les bielles I et I' (coupe AB) dépendant du régulateur. Les bosses excentrées de ces cames, marchant l'une vers l'autre, viennent se présenter plus ou moins tôt sous l'extrémité d'un appendice latéral au doigt *m* pour écarter cette pédale de l'axe du tiroir. La came K agit directement sur le doigt *m* pour

amener le déclenchement pendant l'aller du tiroir, c'est-à-dire, pour les petites introductions, jusque vers les 3,5/10 de la course du piston, et la came K produit, au contraire, le déclenchement pendant le retour du tiroir, depuis 3,5/10 environ jusqu'à 8/10 de la course du piston, en agissant sur le doigt mobile intérieur *n*.

Lors de l'aller du tiroir, ce doigt mobile intérieur *n* disparaît dans *m*, poussé par un plan incliné latéral de la came K des grandes introductions ; il évite ainsi la bosse de cette came, qui empêcherait l'action de la première came K ; par suite de la position à elle imposée par le régulateur, c'est le doigt intérieur *n* qui, repoussé brusquement de sa loge par un ressort, vient se présenter derrière la bosse de la came K pour déclencher à son tour, plus ou moins tôt, aux grandes introductions.

Les deux doigts *m* et *n* sont, comme les cames elles-mêmes, en acier d'excellente qualité, ce qui assure leur durée. Ils peuvent être remplacés très rapidement et à peu de frais, après plusieurs années de fonctionnement si besoin en est.

Un des principaux avantages de cette distribution sur celle exposée en 1878, résulte de ce que l'organe de déclenchement qui agit pour les grandes introductions ne fonctionne pas constamment. Il n'est mis en mouvement que lorsque la première came, celle des petites introductions, n'a pas suffi pour déclencher, de sorte que, dans la marche ordinaire et habituelle, le doigt intérieur *n* se transporte librement dans l'espace sans subir ou produire aucun frottement sur la bosse ou sur le flanc de la came K.

Un autre avantage de la disposition actuelle, plus important encore, résulte de ce fait que les efforts perturbateurs transmis sur le pendule par le déclic sont réduits, au minimum, les bosses des cames étant constituées à très faible pente de façon à neutraliser au moins en grande partie, ces efforts par le simple frottement des cames autour du support sur lequel elles jouent.

Cette machine permet l'introduction jusqu'aux 8/10 de la course. La disposition spéciale de l'une des cames empêche tout emportement de la machine en cas d'accident au régulateur. Car, en admettant que pour une cause quelconque, le régulateur s'arrête et tombe en bas de sa course, la machine au lieu de s'emporter s'arrête par la suppression d'introduction et prévient ainsi son conducteur ; c'est là un résultat utile dans tous les cas et d'une importance capitale dans les applications aux éclairages électriques industriels ; car une machine dynamo-électrique peut être détériorée en quelques instants si sa vitesse devient excessive par suite de l'emportement du moteur qui l'actionne.

Les conditions que M. Farcot s'est imposé dans cette distribution ont été réalisées avec un très petit nombre d'organes compacts, simples et robustes.

Les axes et manetons sont emmanchés à la presse hydraulique et l'étanchéité des garnitures des tiges des tiroirs est obtenue sans presse-étoupes par l'application de la tige en acier sur l'extrémité de la douille en bronze qui la supporte.

Le palier principal de la machine a été étudié spécialement en vue d'éviter les inconvénients des coussinets latéraux à guidage rectiligne. Ceux-ci, en effet, quel que soit leur bon fonctionnement au début, cessent d'être en contact avec l'arbre sur toute leur surface, quand celui-ci s'est déplacé verticalement par suite de l'usure même légère du coussinet inférieur.

Le serrage des coussinets latéraux a alors pour effet de les appliquer sur l'arbre à leur partie inférieure, mais il reste toujours à leur partie supérieure, un jeu qu'on ne peut racheter.

Dans le palier que nous décrivons (voir la coupe) les coquilles en bronze A des des coussinets latéraux portent sur leurs guides horizontaux, par les deux faces diamétralement opposées d'un cylindre dont le diamètre est égal à l'écartement des guides.

Une cale très rigide en acier B transmet aux coussinets la pression des vis de réglage *v*. — La cale *c* pouvant glisser librement sur le coussinet A, celui-ci s'incline de lui-même sous l'action des vis, à mesure que l'arbre se déplace verticalement et sa face concave reste toujours en contact avec l'arbre sur toute son étendue. La cale *c* se déplace par rapport au coussinet et le suit dans son inclinaison, grâce aux têtes sphériques des vis de réglage.

Dans ses nouvelles machines, M. Farcot combine, pour le palier principal, cette disposition des coussinets avec le graissage automatique appliqué au palier de bout d'arbre de la machine que nous décrivons, et qui déverse sur l'arbre un courant continu d'huile de graissage.

Le volant de cette machine étudié avec grand soin, pour obtenir un maximum de légèreté sans rien perdre de la rigidité, se compose d'une jante mince en fonte nervée de $1^{m},50$ de largeur, pesant 21 000 kilogrammes et fondue d'un seul jet puis séparée en quatre morceaux. Les seize bras sont en tôle d'acier rivée, de section elliptique variable depuis le moyeu octogonal qui les supporte jusqu'à la jante, et les tôles qui les composent sont faites chacune d'un seul coup de presse hydraulique ; ces bras rangés dans deux plans parallèles sont reliés deux par deux par un treillis léger empêchant toute flexion transversale.

Le graissage du cylindre, des boîtes à tiroir et des supports de leurs arbres est effectué à la fois, malgré les trois pressions différentes de ces points d'arrivée d'huile au moyen d'un seul oléomètre Bourdon à plusieurs tubes compte-gouttes ; ces trois graissages fonctionnent parfaitement sans se gêner l'un l'autre.

La tête de bielle de la grande machine est lubrifiée par le graisseur pendule Leneveu que nous avons déjà indiqué.

Toutes les matières sont de premier choix : les fontes, suivant des mélanges bien déterminés pour chaque emploi, sont essayées régulièrement et sortent toutes de la fonderie de l'usine Farcot, y compris le bâti pesant 19 000 kilogrammes d'un seul morceau. Toutes les pièces forgées sont en acier des premières qualités et de numéros de dureté appropriés à chaque fonction ; le manchon de

la manivelle et le tourillon de pied de bielle seuls ont été faits en fer de première qualité; en raison de la nature des efforts qu'ils supportent, ils sont cémentés et trempés, ce qui leur assure une grande dureté sans les rendre cassants; tous les axes et manetons sont trempés et rectifiés avec le plus grand soin ; les coussinets et bagues d'articulations sont en bronze phosphoreux.

Cette machine peut développer, dans d'excellentes conditions de consommation $5^k,5$, de 500 à 1000 chevaux. Elle peut en développer de 12 à 1300 au prix d'une consommation un peu plus grande par cheval, soit environ 7 kilogrammes d'après les essais faits par M. Farcot à l'usine de Saint Maur.

Il y a actuellement 15 machines de ce type en fonctionnement dont 5 en Égypte qui actionnent les fameuses pompes centrifuges de la Béhéra.

Machine Dyckhoff

(Planches 30-31)

Nous avons signalé une machine qui figure à l'exposition et qui a eu un succès de curiosité ; c'est la machine Stoppani construite par M. Dyckhoff, de Bar-le-Duc.

Cette machine à cylindre unique est à deux distributeurs, seulement chacun servant à l'admission, à la détente, à l'échappement, et cela, combiné avec une distribution à déclic.

Nous devons pour rendre hommage à la vérité, dire qu'une machine nous paraissant absolument analogue, de 50 chevaux à deux distributeurs et à déclic Wheelock, a été construite et brevetée en 1885 par M. de Quillacq et qu'elle a fonctionné pendant un an aux ateliers d'Anzin, mais à cause de la pression agissant sur les distributeurs, cette machine était peu sensible au régulateur et nécessitait de puissants rappels pour la fermeture des distributeurs, aussi cette application a-t-elle été abandonnée. Nous joignons le dessin de cette machine.

Machine de la Société de Haine-Saint-Pierre (Système Hoyois)

Cette machine, par ses dispositions originales, mérite d'être signalée quoique nous ne puissions pas donner de renseignements sur sa valeur pratique.

C'est une machine horizontale à cylindre de 500 $\times$ 1000 pouvant développer

un travail de 80 chevaux. Les organes d'admission sont deux soupapes placées au centre des plateaux des cylindres. Celle d'avant est donc concentrique à la tige de piston. Ces soupapes se meuvent dans deux boîtes à vapeur formant enveloppes des fonds de cylindre.

Le mouvement leur est donné par un système à déclic et est transmis par deux fortes pièces contournées symétriques, partant du milieu de la génératrice horitale supérieure du cylindre pour aller se recourber et attaquer les deux tiges dont chaque soupape est munie.

L'échappement se fait par deux tiroirs à grille, situés à la partie inférieure du cylindre et commandés par la crosse du piston.

Nous signalerons enfin trois machines à quatre distributeurs, horizontales à un seul cylindre.

1° Machine à quatre distributeurs à déclic Zimmermann et Woldmann exposé par la maison Cail et Halot de Bruxelles. C'est une machine de 20 chevaux, bien construite. La transmission du mouvement du régulateur est un peu compliquée.

2° Machine C.-H. Brown, de la section américaine. Cette machine a une grande vitesse de piston. Elle est fort bien exécutée et son déclic, par cames, est très simple et fonctionne sans bruit.

3° Machine de la Société Verviétoise. Cette machine est la transformation de la machine précédemment construite par cette société avec obturateurs Corliss en machine avec tiroirs plats à l'admission.

Ce sont également des cames qui, dans cette machine, donnent le mouvement aux obturateurs.

Machine d'extraction exposée par la Société de Marcinelle et Couillet

Cette belle machine est la troisième de ce type acquise par les houillères de Stiring (Lorraine).

Elle se compose de deux machines horizontales jumelles qui peuvent développer 1200 chevaux et peuvent extraire le charbon jusqu'à 1000 mètres de profondeur.

Les dimensions des cylindres sont

1m,060 de diamètre
1m,600 de course

Ils sont munis de soupapes permettant de battre contre vapeur.

La distribution de vapeur se fait par 4 soupapes équilibrées, placées deux à deux dans des chapelles latérales au cylindre.

Les soupapes supérieures servent à l'admission, les autres à l'échappement.

Le mécanisme de distribution est dû à M. Lelory, ingénieur des ateliers de Couillet. Il est commandé par deux poulies d'excentriques communiquant, par l'intermédiaire d'une coulisse de changement de marche, un mouvement d'oscillation à un plateau central fixé au cylindre et portant les 4 bielles de commande des soupapes.

Le degré de détente dépend de la position du régulateur qui peut se régler à l'aide d'un appareil à contre-poids manœuvrable à volonté pour satisfaire à toutes les exigences des machines d'extraction.

Cette machine est un très beau spécimen de l'application des détentes perfectionnées aux machines d'extraction.

Machine de MM. Jean et Peyrusson, de Lille

(Planches 32-33)

Cette machine à un seul cylindre est très intéressante par la simplicité de son déclic qui peut s'agrafer par son propre poids, sans ressort, ce qui permet à cette machine d'arriver à 75 et 80 tours.

Les tiroirs d'admission sont plats et les tiroirs d'échappement sont également plans et à grille. Leur manœuvre est caractéristique : ils sont liés à une même tige portant en deux points déterminés deux leviers d'équerre munis de galets au-dessous des glissières; la crosse de piston est munie d'une came d'attaque formée de deux parties inclinées symétriques par rapport à l'axe vertical de la crosse. Aux fins de course chaque face de la came vient attaquer le galet correspondant et manœuvre ainsi le tiroir d'échappement.

L'abaissement du galet ainsi produit le met en contact avec l'huile d'un godet, la came arrive d'abord tangentiellement au galet de sorte que ce fonctionnement se fait sans choc appréciable.

Cette machine, dont il existe un assez grand nombre d'exemplaires, a les dimensions suivantes :

Diamètre du cylindre. . .	0m,350
Course.	0m,900

Avec une pression de 5 kilogrammes à l'admission, cette machine développe 55 chevaux.

Le déclic est mû par un arbre intermédiaire situé au-dessus des glissières qui sont planes.

La crosse attaque la pompe du condenseur à l'aide de bielles et d'un levier formé de deux flasques en tôle. Le condenseur est situé dans le sous-sol, au-dessous de la machine, entre le cylindre et le palier.

Cette machine est bien exécutée et fonctionne très régulièrement.

MACHINES WOOLF

Machine Woolf à balancier de M. Windsor

M. Windsor expose une machine verticale à balancier à deux cylindres « Woolf » dite compound, à détente variable par le régulateur et à condensation.

M. Windsor a apporté à ce système tous les perfectionnements possibles, en modifiant la distribution et en appliquant un appareil à détente variable par le régulateur au lieu du papillon ; et de plus, on y a ajouté un nouveau tiroir distributeur, dit tiroir à compression pour le grand cylindre qui permet d'activer sensiblement la vitesse de ces moteurs et d'obtenir encore un rendement plus considérable.

La planche jointe donne le dessin de ce régulateur.

A. — Cylindre en bronze de l'appareil.

B. — Tuyau en cuivre mettant l'appareil en communication avec le vide du condenseur ; un robinet est placé sur son parcours ; à la partie inférieure du cylindre se trouve une grille percée de trous pour l'arrêt des corps étrangers en suspension dans l'eau ; au-dessous de cette grille, l'on aperçoit l'orifice d'un tuyau en communication avec les eaux du condenseur.

E. — Piston sans garnitures ayant une tige creuse, laquelle porte dans la partie inférieure quatre orifices égaux et symétriquement placés en regard d'un tiroir circulaire maintenu par un étui en bronze.

A la tige creuse du piston est fixée, vers la partie supérieure, une traverse en bronze reliée à la traverse inférieure O au moyen de deux tringles verticales g, g, g, g^3 ; et servant de guide à la douille H.

H. — Douille creuse en bronze reliée à la tringle de commande du régulateur, ayant un mouvement rectiligne ; elle est guidée dans la traverse G par une clavette fixe, elle porte deux rainures en hélice. Dans ces rainures passe une goupille en acier à laquelle le mouvement vertical de la douille H imprime le mouvement de rotation.

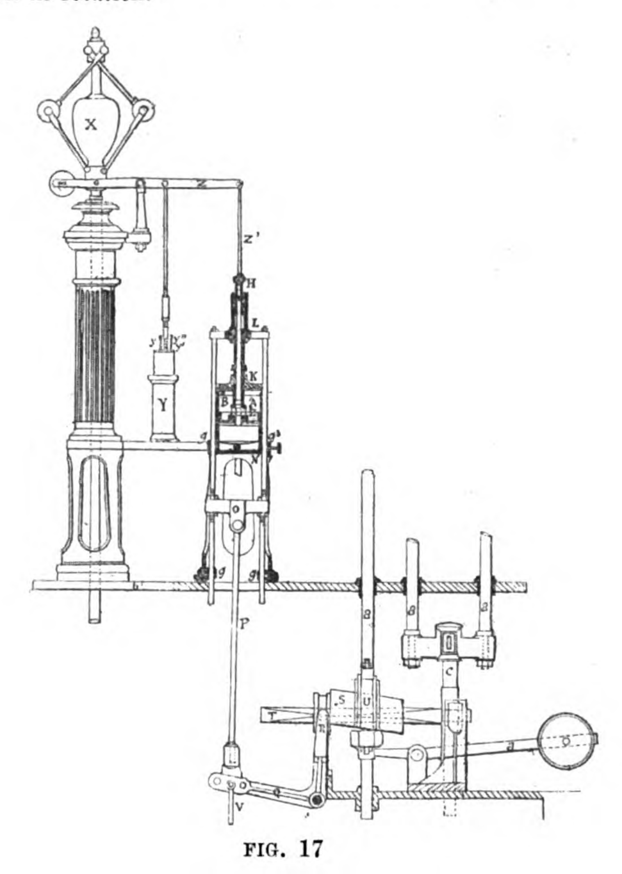


FIG. 17

K. — Plateau en bronze portant écrou pour joint.

L. — Ecrou à pans pour joints de la tige creuse du piston.

Dans le guidage g^3 passe une béquille pour arrêt de l'appareil à l'un des points de sa course.

N. — Socle en fonte portant l'appareil fixé sur la plaque de fondation.

O. — Traverse reliant l'appareil au levier Q au moyen de la bielle P.

P. — Bielle portant moufle de jonction avec taraudage pour faciliter le réglage.

Q. — Levier d'équerre commandant le coin.

R. — Collier fixé sur le coin S,

S. — Came ou coin en fonte à section rectangulaire pour la commande du tiroir de détente monté sur l'arbre T,

T. — Arbre de section rectangulaire excentré portant le coin S.

U. — Coussinet et cage du coin jonctionné à la tige de commande du tiroir de détente.

V. — Tige du contre-poids creux pour régler l'équilibre de l'appareil.

X. — Régulateur pendule conique à grande vitesse avec contre-poids et bras à fourche croisés dit régulateur Porter.

Y. — Contrôle du régulateur avec piston à huile et ressorts en hélice.

Y Y' Y" — Petites vis de réglage appuyant sur une rondelle pour comprimer les ressorts du contrôle et le régler.

Z. — Levier à fourche portant collier en bronze et transmettant l'action du régulateur à l'appareil de détente par la tige Z'.

a. — Tige de commande du tiroir de détente.

a' a'. — Tiges de distribution.

b. — Plaque de fondation.

c. — Cage d'excentrique.

d. — Contre-poids équilibrant la tige du tiroir de détente.

Cet appareil à détente et le second tiroir sont simples, leur entretien est facile et ils ne se dérangent pas.

La machine de ce système exposée est de 120 chevaux ; elle a les dimensions suivantes :

Diamètre du grand cylindre	0^m,740
Diamètre du petit cylindre	0^m,390
Course du grand piston.	1^m,680
Course du petit piston	1^m,2456

Vitesse de régime 36 tours par minute.

Le volant de cette machine est construit en deux pièces, il a 5^m,500 de diamètre et porte une jante pour la commande par une courroie de 0^m,650 de largeur.

Le balancier est soutenu par un grand beffroi à quatre colonnes supprimant le sommier, tout en présentant la solidité et la rigidité désirables. Cette disposition permet d'installer ce système de moteur dans des bâtiments ordinaires, sans aucune attache aux murs, ce qui réduit sensiblement les premiers frais d'installation.

D'autres perfectionnements ont aussi été introduits dans ces moteurs, tels que l'adoption de paliers graisseurs automatiques pour supporter l'arbre de volant afin de permettre de marcher à de grandes vitesses avec sécurité ; — une disposition spéciale pour la construction de la bielle motrice avec chapes et cuivres mobiles inférieurs permettant le débrayage de cette bielle sans démonter le maneton de manivelle.

Enfin la machine est parfaitement équilibrée et tous les principaux organes de mouvement sont construits en acier.

Les cylindres sont rapportés dans une enveloppe de circulation de vapeur et cette enveloppe elle-même est revêtue d'une enveloppe en bois cerclée en cuivre et garnie de calorifuge.

C'est un excellent type de machine à balancier, d'un emploi courant dans l'industrie et très bien exécuté.

Nous n'avons pas à signaler les avantages des machines de ce type, ils sont bien connus.

Machine soufflante verticale de Cockerill

Cette machine est d'un type bien connu, car le spécimen exposé est le 152ᵉ construit.

La machine motrice située à la partie inférieure est une machine Woolf à condensation dont les pistons attaquent une même traverse qui va actionner le piston à air. Une bielle en retour de chaque côté va actionner un volant à droite et un volant à gauche de $7^{m},240$ de diamètre et pesant 18000 kilogrammes chacun.

Le diamètre des cylindres à vapeur est de 850 et 1200, soit un rapport de 1,99 entre les volumes. La course commune est de $2^{m},440$. La machine tournant à 15 tours développe 260 chevaux indiqués.

La distribution se fait par cames.

Ce type classique de machine soufflante est fort bien exécuté.

Machine Quéruel, construite par MM. Douane et Jobin

La machine motrice Quéruel construite par MM. Douane et Jobin est une machine Pilon à deux cylindres accolés et du fonctionnement Woolf à manivelles calées à 180°.

Le condenseur a sa pompe actionnée par un balancier prenant son mouvement sur la tige du grand cylindre.

Le bâti est bien établi, stable et cette machine de 150 chevaux à 3/10 d'admission à 6 kilogrammes occupe peu de place.

La poulie volant est en deux morceaux. L'arbre est en deux parties reliées par des plateaux boulonnés.

Les cylindres à vapeur, inégaux en diamètre et égaux en longueur, sont entourés d'une enveloppe de vapeur. Les deux cylindres sont séparés l'un de l'autre par une capacité où se meut le tiroir de transvasement ou tiroir intermédiaire qui est l'organe spécial de cette nouvelle machine. Le petit cylindre

porte sur sa face extérieure la boîte de distribution où se meut le tiroir d'admission initiale que nous devons décrire le premier.

Le tiroir initial est très simple ; il n'a pas, en effet, à commander et l'admission et l'échappement comme les autres tiroirs et, est, par ce fait, à l'abri de tous les inconvénients résultant de cette union désavantageuse. N'ayant à commander que l'admission, le calage de l'excentrique devient pour ainsi dire indifférent, d'où résulte l'avantage de pouvoir faire marcher le tiroir jusqu'à 75 et 80 pour 100 de la course, et, si ce tiroir porte une tuile du genre des tuiles Edwards, on peut l'arrêter par une butée fixe de manière à terminer l'admission à des points variant entre 0 et 70 % de la course. C'est ainsi qu'est cons-

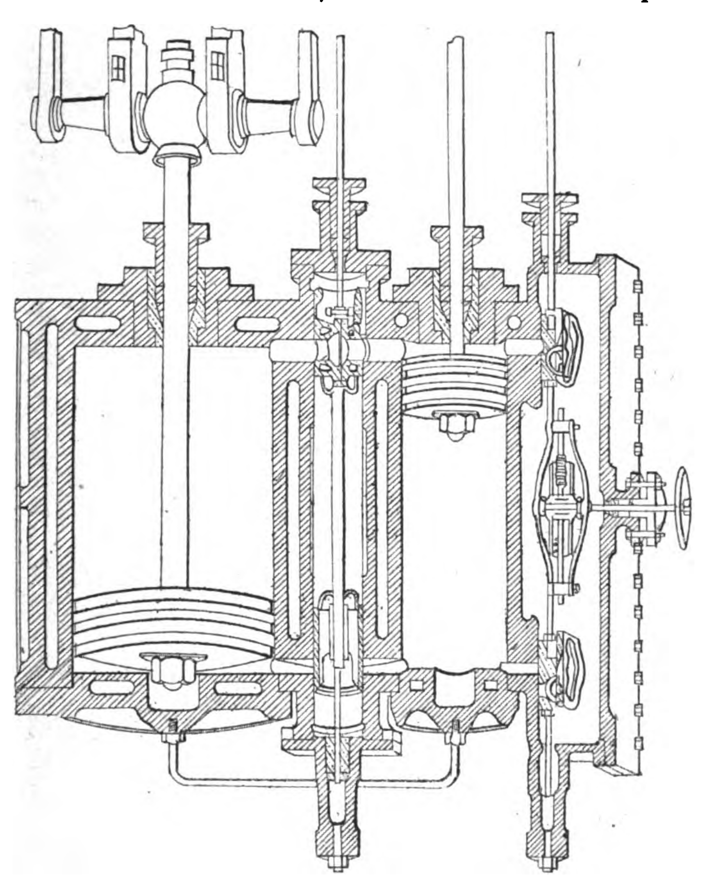


FIG. 18. — MACHINE QUÉRUEL, CONSTRUITE PAR MM. DOUANE ET JOBN

truit le tiroir d'admission, et l'inspection des diagrammes du petit cylindre de cette machine montre que l'admission est réglée par lui dans des conditions presque théoriques. Il ouvre, dès le début de la course, l'orifice en grand, et la pression sur le piston est presque instantanément celle de la boîte à vapeur. Au

point de détente, le coupage de la vapeur est fait aussi nettement que possible. Le tiroir intermédiaire est l'organe principal de la machine Quéruel ; il est disposé de telle sorte qu'avec une force modérée absorbée pour son fonctionnement, il donne néanmoins une grande ouverture de passage pour la vapeur à écouler entre les deux cylindres. Les orifices des deux cylindres correspondants sont en face l'un de l'autre ; ils sont très grands par rapport à la section des pistons et aboutissent à deux glaces absolument parallèles. C'est entre ces deux glaces que glisse le tiroir intermédiaire qui porte en face de chaque orifice, une ouverture semblable à chacun d'eux.

Ces ouvertures sont reliées l'une à l'autre par un petit canal qui traverse de part en part le tiroir intermédiaire. Ce dernier est divisé en deux parties distinctes, s'appuyant chacune sur la glace du cylindre sur laquelle elle doit opérer. Ces deux moitiés marchent du reste comme un entier étant enfermées dans le même cadre et commandées par le même mouvement.

Pour régler la pression de chacune des deux parties du tiroir sur leur glace respective et empêcher toute fuite de vapeur, le joint de séparation des deux moitiés est constitué au milieu du canal par une sorte de soufflet métallique, à l'intérieur duquel agit la vapeur en pression.

On voit que la force qui fait appuyer les deux parties du tiroir sur les glaces des cylindres varie avec la pression de vapeur, c'est-à-dire directement avec la cause qui donne plus ou moins d'importance aux fuites.

C'est dans cette disposition ingénieuse que réside le principal intérêt de la machine. La commande du tiroir intermédiaire est donnée par un excentrique calé sensiblement à 90° des manivelles et commandant en même temps que le transvasement des cylindres l'échappement au condenseur. Les deux fonctions s'accordent ensemble dans les meilleures conditions. Les rapports des sections des orifices des cylindres à celles de leurs pistons respectifs sont :

Introduction du petit cylindre	1/16
Echappement du petit cylindre	1/8
Introduction et échappement du grand cylindre. . . .	1/16

Ces orifices placés aux extrémités des cylindres sont en ligne droite et de petite longueur.

Cet arrangement présente le double avantage de ne donner aux espaces nuisibles qu'une faible capacité d'une part, et de présenter des passages courts et directs à la vapeur en circulation, ce qui n'en diminue pas d'une manière sensible la pression utile.

Plusieurs machines que nous décrivons plus loin, dans les machines à grande vitesse, appartiennent au type Woolf : la machine de la Société d'Oerlikon, la machine Brown, etc., avec manivelles à 180°, etc.

MACHINES COMPOUND

Machine compound de la Société Alsacienne de constructions mécaniques

(Planches 34-35)

Cette machine développe un travail de 250 chevaux à la vitesse de 75 tours par minute.

Les diamètres des cylindres sont de 400 à 600 millimètres avec une course de pistons commune de 1^{m},200, ce qui donne un rapport de 2,25 entre les volumes des cylindres.

La distribution est du système *Frikart* de Lille. Cette distribution que nous retrouverons à d'autres machines est un perfectionnement de la détente Corliss, permettant des admissions de vapeur variables de 0 à 75 %.

L'excentrique est calé avec une avance de 30°, la barre va attaquer un levier intermédiaire qui sert à compléter la course d'un plateau oscillant autour d'un axe fixé sur le cylindre ; ce plateau actionne les 4 distributeurs au moyen de bielles d'attache à réglage.

Les épures montrent que les orifices d'entrée et de sortie de la vapeur sont ouverts en plein pour une course du piston égale à 1/20 de la course totale.

L'axe de l'obturateur d'admission porte une came d'enclenchement, reliée par une bielle au piston de rappel.

Le levier B fait partie d'un collier tournant fou sur les guides des tiges d'obturateurs et est attaqué par la bielle du plateau de distribution.

Ce levier B porte en outre un cliquet F, placé dans le plan de la came.

Ce cliquet F est commandé lui-même et reçoit l'action du régulateur de la façon suivante :

Une bielle G, partant d'un tourillon H sur la barre excentrique, est reliée par les leviers J, K, et les bielles L, M, aux cliquets F ; ceux-ci, commandés par les leviers L et par les bielles L et M, décrivent une courbe qui n'est jamais concentrique à l'axe de l'obturateur et permet par conséquent le déclenchement pour toutes les positions de la manivelle.

Le régulateur, relié par la bielle N au levier K, agit ainsi sur la courbe

décrite par l'arête du cliquet F, ce qui permet d'obtenir tous les degrés d'admission dans de bonnes conditions et avec un excentrique unique.

Cette machine a un cylindre à enveloppe de vapeur avec tube rapporté à chaud, sans mastic, ni bague.

La pompe à air, à double effet, située en-dessous de la machine, n'a que deux clapets de refoulement. Il n'y pas de clapets d'aspiration, la pompe à air est en communication directe avec le condenseur par une série d'ouvertures rectangulaires, pratiquées au milieu de sa longueur.

Le réservoir intermédiaire est placé entre les cylindres et est à enveloppe chauffée par la vapeur directe.

La machine est disposée de façon à pouvoir marcher avec ou sans condensation et avec le petit cylindre seul; l'échappement se fait dans ce cas directement au condenseur et sans passer par le grand cylindre.

Le condenseur est actionné par une bielle mise en mouvement par le boulon de crosse du piston du grand cylindre.

La poulie volant est en 2 morceaux et porte 8 gorges pour câbles.

Les glissières ont une forme semi-circulaire. On peut remarquer les grandes dimensions des paliers de cette machine dont l'exécution est irréprochable, et si la distribution Frikart tient ce qu'elle promet, cette machine est un des types à recommander.

Machine compound de la Maison Escher Wyss et Cie, de Zurich

(Planches 36-37 et 36-37 *bis*)

Cette machine développe 150 chevaux à 80 tours avec des cylindres de $0^m,550$ et $0^m,370$, la course des pistons est de $0^m,800$.

La distribution Frikart semblable à celle que nous venons de décrire est réglée avec assez de compression pour permettre la vitesse de 3 à 4 mètres pour le piston, vitesse qu'on n'obtenait pas avec les déclics employés précédemment. Cette distribution est moins compliquée que la distribution Corliss de 1879 et paraît devoir être recommandée.

Cette machine a un réservoir auxiliaire avec réchauffeur tubulaire à vapeur directe.

La vapeur du cylindre à haute pression, avant d'aller au cylindre à basse pression, passe dans un faisceau entouré de vapeur vive de la chaudière et elle s'y réchauffe, ce moyen a été recommandé par M. Hirn.

Les espaces morts de cette machine sont de 2 à 3 % du volume du cylindre qui est à enveloppe de vapeur et à tube rapporté.

Le condenseur de cette machine est en-dessous. Les glissières sont cylindriques et la poulie volant en deux morceaux porte 8 gorges pour les câbles.

Machine horizontale compound à deux cylindres superposés de la Société Alsacienne

(Planches 38-39)

La machine exposée par la Société alsacienne est de la force de 40 chevaux ses dimensions principales sont les suivantes :

Diamètres des cylindres : 175 sur 350 millimètres.

Course des pistons : 650 millimètres.

Vitesse : 90 tours à la minute.

Soit un rapport de 4 entre les volumes des cylindres.

Les deux cylindres à vapeur de cette machine sont pourvus chacun d'une chemise de vapeur. Le petit cylindre est placé obliquement sur le grand de telle sorte que les axes des deux cylindres passent par le centre de l'arbre moteur.

En projection horizontale, les axes sont déplacés de façon que les deux bielles motrices puissent passer l'une à côté de l'autre.

Les cylindres sont placés sur un fort bâti, portant, venu de fonte, le palier de l'arbre moteur. Chaque piston est guidé par un système de quatre glissières.

La distribution de vapeur est très simple :

Deux tiroirs superposés, système *Ryder* au petit cylindre et un seul tiroir au grand cylindre à fort recouvrement.

Le condenseur est vertical et conduit par une contre manivelle. Le volant est en deux parties.

Les avantages principaux de ce type de machines sont le faible emplacement qu'elles occupent et qui n'est pas supérieur à celui d'une machine à un cylindre, la simplicité de leur distribution, leur faible consommation de vapeur (environ 8 kilogrammes).

Le côté contestable de cette machine est la série d'engrenages pour la transmission du double mouvement de distribution. Il y a là une cause d'irrégularités dans le fonctionnement que la pratique viendra très probablement constater.

En résumé cette machine est très intéressante et mérite de la part des ingénieurs une étude attentive.

Machine à vapeur demi-fixe compound de 60 chevaux de la Société Alsacienne

(Planches 40-41)

Cette machine se compose de deux parties :

1° Le moteur à vapeur à deux cylindres placé à la partie inférieure sur un fort châssis en fonte.

2° La chaudière du type des chaudières de locomotives, posée sur ce châssis *et le chargeant* suffisamment pour qu'il soit inutile de le fixer sur le sol.

Ce châssis est néanmoins pourvu de trous de boulons de fondations pour le cas où l'on aurait à se servir de la machine sans sa chaudière.

Les dimensions principales de la machine exposée sont :

Surface de chauffe	foyer.	6,030
—	tubes.	37,300
—	totale	43,330
Surface de grille.		1,000
Diamètre du cylindre	d'admission	0,260
—	de détente.	0,400
Rapport des volumes		2,37
Course des pistons		0,500
Nombre de tours.		135

Les deux cylindres à vapeur sont placés dans une caisse portant, venue de fonte, les deux boîtes à vapeur, les canaux d'entrée de communication et de sortie de vapeur. L'intervalle entre chaque cylindre et les parois de cette caisse forme chemise de vapeur.

Ces chemises sont chauffées par la vapeur à haute pression de la chaudière. Un tuyau spécial permet d'envoyer en outre de la vapeur directe au grand cylindre pour faciliter le démarrage.

Les pistons à vapeur, en fonte, sont pourvus chacun de deux segments élastiques. Les crosses de piston portent chacune deux patins guidés par un système de quatre glissières plates en acier. Les bielles motrices, à chape, sont pourvues d'un système de graissage à lécheur emportant à chaque coup de piston la goutte d'huile délivrée par des graisseurs à compte-gouttes dont on peut régler le débit à volonté.

L'arbre moteur en acier porte deux coudes à angles droits, deux poulies volants sont coulées aux deux extrémités de cet arbre, il est porté dans trois paliers venus de fonte au châssis formant bâti.

Les boîtes à vapeur sont placées extérieurement aux cylindres. Celle du petit cylindre renferme deux tiroirs superposés du système bien connu de Ryder. Les surfaces de contact des deux tiroirs sont cylindriques, de sorte qu'un simple déplacement du tiroir trapézoïdal de détente sur son axe, suffit pour faire varier l'admission de vapeur de 0 à 80 % de la course du piston.

Le grand cylindre n'a qu'un seul tiroir, à fort recouvrement, admettant la vapeur pendant 50 à 60 % de sa course et en même temps une forte compression et un échappement anticipé assez notable. Le régulateur très énergique agit par une disposition très simple sur le tiroir de détente, produisant un déplacement angulaire de ce dernier lorsque la charge vient à varier.

Ces machines se construisent souvent à condensation ; dans ce cas, la tige du

piston du grand cylindre sort à l'arrière et conduit le plongeur d'une pompe à air à simple effet placée en prolongement du cylindre.

Cette machine bien construite occupe peu de place tout en étant d'un accès très facile pour l'entretien et les réparations.

Machines à vapeur exposées par la Maison Biétrix

(Planches 42 à 45)

La Maison Biétrix construisit sa première machine à distributeur rotatif en 1884, sa force était de 40 chevaux. Après de nombreux essais dans son atelier, elle a été vendue aux forges et aciéries de la marine et des chemins de fer montée à leur usine du Boucau, en juin 1884, où elle a toujours fonctionné. Depuis cette époque, toutes les machines à vapeur de 10 à 300 chevaux qui ont été construites sont à distributeur rotatif.

La machine motrice de la galerie des machines, à l'Exposition, est de 150 chevaux et marche à 110 tours; elle est compound à 2 cylindres accolés et à 2 distributeurs. La maison Biétrix construit actuellement ces machines avec un seul distributeur.

Cette machine a son condenseur en tandem sur le grand cylindre. Elle est munie du graisseur oléomètre Bourdon. Les glissières sont cylindriques, le boulon de crosse est à graissage central. Les plateaux manivelles sont ajustés et rivés. Il y a deux volants d'un seul morceau pouvant recevoir des courroies.

L'organe de distribution est unique, c'est un robinet muni d'ouvertures et de cloisons convenablement disposées, il est animé d'un mouvement de rotation uniforme et fait le même nombre de tours que l'arbre moteur. Il est légèrement conique pour pouvoir rattraper le jeu, et la vapeur le tient ainsi constamment appuyé contre une butée extérieure à réglage facile; il n'y a donc aucun frottement autre que celui des deux presse-étoupes traversés par l'arbre de faible diamètre portant le robinet et le frottement de la butée. Il est à remarquer que la pression de vapeur tend toujours à décoller le robinet dans lequel il tourne, c'est ce qui explique qu'il n'y ait pas de tendance au grippage. Après quelques jours de marche, le robinet a pris un peu de jeu, il faut serrer légèrement la butée jusqu'à ce qu'en faisant tourner le robinet à la main on éprouve une légère résistance; on répète cette opération deux ou trois fois et à partir de ce moment aucune usure appréciable ne se produit. Le robinet est commandé par deux roues

héliçoïdes de même diamètre, dont l'une est fixée sur l'arbre moteur et l'autre sur l'arbre du robinet prolongé. Le robinet porte, du côté de son plus petit diamètre, une partie cylindrique percée de deux petites fenêtres opposées, par lesquelles entre la vapeur ; sur cette partie cylindrique est emmanché, à frottement doux, un boisseau muni également de deux fenêtres opposées mais plus larges. On règle la distribution en modifiant l'orientation du boisseau soit à la main, soit par un régulateur.

Nous avons dit que la maison Biétrix exposait un de ces distributeurs en bon état après quatre ans de service. Il est cependant à craindre qu'en cas de fuite de vapeur le métal ne vienne à se ronger assez rapidement.

Nous allons décrire la disposition toute particulière, permettant au régulateur d'agir sur le boisseau du robinet et par conséquent sur la détente ; elle est très ntéressante :

A la partie centrale mobile d'un régulateur à force centrifuge sont fixés deux disques horizontaux AA, (pl.44-45), distants l'un de l'autre de 10 centimètres environ, tournant avec le régulateur et montant ou descendant suivant que la vitesse augmente ou diminue. Entre ces disques se trouve un galet B, vertical, garni de cuir, de 10 centimètres de diamètre, que les disques font tourner par frottement dans un sens ou dans l'autre, suivant qu'ils tendent à monter ou à descendre. Ce petit galet en tournant agit sur la détente. Cette disposition, jusqu'ici, ne présente rien de particulier ; elle a été souvent essayée et toujours promptement abandonnée ; les machines à vapeur munies de cet appareil, s'emballent, se ralentissent et ne cessent d'avoir des oscillations nombreuses. Il est nécessaire que le galet puisse monter et descendre et suivre le mouvement que le changement de vitesse tend à donner à la masse mobile du régulateur.

Le galet commande la vis C, par l'intermédiaire d'un petit pignon conduisant la roue en bronze D à denture intérieure qui, elle même, conduit la vis par l'intermédiaire de deux petits pignons d'angle. Le tout est porté par une boîte en bronze F reposant sur la tête de la vis, montant et descendant avec elle, mais que deux petits guides empêchent de tourner.

La vis s'engage dans l'écrou fixe G, et se prolonge par une tige qui traverse un presse-étoupes, pénètre dans la boîte de distribution et conduit le boisseau de détente H par la vis I : en L cette tige est interrompue, elle porte un petit manchon creux qui lui permet de monter et de descendre, tout en entraînant la vis dans son mouvement de rotation. C'est un mouvement mécanique analogue à celui de la commande Meyer, le fonctionnement de l'appareil est facile à comprendre : si la vitesse augmente, le régulateur tend à monter ; le disque inférieur vient toucher le galet et le fait tourner ; lui-même entraîne la vis, qui modifie la position du boisseau de détente ; mais la vis, en

tournant, monte, et avec, le galet qui prend la position convenant à la vitesse momentanée du régulateur.

Le calcul des divers organes est facile ; on se donne l'écart maximum de vitesse que l'on peut accepter, 2, 3, 4 % ; on en déduit la course du régulateur correspondant ; c'est généralement 2 à 3 centimètres. Il n'y a plus qu'à calculer le diamètre des divers organes et le pas de la vis, de façon que, lorsque la vis aura monté des 2 ou 3 centimètres prévus, le boisseau de détente ferme entièrement l'introduction.

La régularité, ainsi obtenue, est suffisante dans la plupart des cas, mais, lorsque les machines doivent conduire des dynamos pour l'éclairage électrique, on emploie un artifice qui permet d'augmenter l'introduction de la vapeur dans la machine, sans que sa marche se ralentisse en rien, car c'est lorsque la dynamo absorbe le plus de force qu'il convient de maintenir et même d'augmenter sa vitesse, si l'on veut que l'intensité de l'éclairage ne baisse pas. Pour cela, on peut relever à la main, par un écrou P, la vis portant le galet et tout l'appareil de réglage ; les boules du régulateur se trouvent ainsi écartées sans avoir diminué l'introduction ; cette addition n'est utile que pour la conduite d'éclairages électriques importants.

Quant au régulateur, il est à quatre boules ; chaque boule a la forme d'un galet circulaire évidé sur les trois quarts de sa surface, le dernier quart étant chargé de plomb, la partie évidée porte des dents qui engrènent avec une crémaillère circulaire creuse occupant le centre de l'appareil et tournant avec lui ; elle est elle-même portée par un arbre vertical fixe. Le tout est enfermé dans une boîte circulaire ; des nervures intérieures reçoivent les axes des quatre galets. Lorsque la vitesse augmente, les galets, sous l'action de la force centrifuge, tendent à tourner autour de leur axe : mais, comme ils engrènent avec la crémaillère centrale, ils soulèvent tout l'appareil, qui joue ce rôle de contre-poids.

Ces régulateurs sont très sensibles et très puissants.

Nous joignons le dessin de la machine motrice à deux distributeurs, le dessin de la machine compound à un distributeur et le dessin de la machine compound verticale à un distributeur, ainsi que celui de détail du régulateur et du distributeur.

Ce distributeur, simple et ingénieux, qui est connu depuis longtemps, montre après les divers insuccès dont il a été jadis l'objet, qu'avec de bons procédés de construction et des applications bien étudiées, ont peut faire entrer bien des conceptions théoriques dans la pratique courante.

Nous donnons ci-dessous le tableau des résultats d'essais faits sur une machine demi-fixe compound en tandem, à distributeur rotatif, à haute pression sans condensation, installée à la manufacture nationale d'armes de Saint-Étienne, et dont les dimensions principales sont les suivantes (pl. 42-43) :

Diamètre des cylindres	200 $^m/_m$ et	325 $^m/_m$
Course commune		500 «
Introduction variable par le régulateur . .	de 4 à	25 %
Pression d'admission		12 kilos
Rapport des volumes		2,64
Durée de l'essai	3 h.	4 h.
Eau totale injectée dans la chaudière .	2k,135	3k,400
Charbon brut consommé	252 k.	400 k.
Cendres	14 k.	21 k.
Pression	12 k.	12 k.
Nombre de tours (moyenne du compteur)	128,5	128,5
Charge au frein (long. du levier 2m,500).	160	190
Chevaux effectifs sur l'arbre des volants.	71,5	85,2
Eau consommée par cheval-heure effectif	9k,93	10 k.
» vaporisée par kil. de charbon brut .	8k,46	8k,5
» » » » pur .	8k,90	8k,96
Charbon brut consommé par cheval-heure effectif	1k,170	1,k175
Charbon pur consommé par cheval-heure effectif	1k,108	1k,110
Eau vaporisée par heure et m² de surface de chauffe	11k,700	14k,200
Charbon brûlé par décimètre carré de surface de grille	0k,560	0k,666

Machine compound de 200 chevaux de la société des Anciens établissements Cail

Les conditions d'établissement sont :

Force en chevaux sur l'arbre....	200
Pression absolue à l'introduction	7 kil.
Nombre de tours	100
Vitesse du piston....................... ..	2m,333
Admission totale rapportée au cylindre à basse pression B. P	0,12
Diamètre du cylindre H. P....	0m,435
» » B. P.................	0 ,700
Course des pistons..............	0 ,700
Surface du cylindre H. P.	1480c2,20
» » B. P................	3848 ,50
Volume du cylindre H. P.	104d3,034
» » B. P.......	269d3,395

Rapport des volumes..................	2 ,589
Admission au cylindre H. P................	0 ,3107
Pression moyenne au cylindre H. P..........	2k,948
» finale » H. P..........	2 ,1749
» au réservoir.....	1 ,770
» totale sur le cylindre H. P.	4381 kil.
Travail théorique sur le cylindre H. P.	136 ch. 3076
Admission au cylindre B. P..	0,3862
Pression moyenne au cylindre B. P..........	1k,1275
» finale »	0 ,683
» totale »	4339k,18
Travail théorique du cylindre B. P....... ...	134 ch. 99
» total »	271 ch. 30
Travail indiqué sur les pistons, 271,30 × 0,97.	263 ch.
Coefficient du travail indiqué $\frac{200}{263}$	0,76
Diamètre du volant............	3m,00
Vitesse à la circonférence....................	15 ,708
Effort tangentiel pour une force de 200 chev..	954k
Pompe à air à simple effet { Diamètre................	0 ,450
Pompe à air à simple effet { Course...........	0 ,350
Nombre de coups de piston par minute	100
Volume engendré par coup de piston.........	53d3,650
Régulateur, nombre de tours..........	225

L'ensemble de cette machine verticale est représenté, planches 46-47.

Les cylindres sont montés sur de fortes colonnes en fonte, entretoisées par des croisillons de même métal. Ces colonnes sont solidement fixées sur un socle en fonte portant les cages des paliers de l'arbre moteur.

Les cylindres sont fondus d'une seule pièce avec les enveloppes de vapeur, le réservoir intermédiaire et les boîtes à tiroirs.

La disposition donnée aux enveloppes de vapeur et au réservoir intermédiaire permet de réchauffer les deux cylindres, afin d'empêcher la condensation de la vapeur, surtout dans le cylindre à basse pression.

Pour chaque cylindre, deux paires de glissières en acier guident les têtes des pistons.

Ces glissières sont fixées aux cylindres par des pattes venues de fonte, et aux croisillons par des supports permettant un démontage facile. Ce sont ces supports *en fonte* pour les glissières qui me semblent constituer le point critiquable de cette machine.

L'arbre manivelle en acier porte, à l'une de ses extrémités, le volant en porte à faux, et de l'autre côté il commande le régulateur. Les manivelles sont munies de contre-poids équilibrant les pièces en mouvement. Le centre de gravité du système composé de l'arbre, de ses contre-poids et du volant tombe sur l'axe du palier d'extrémité qui a des dimensions telles que la pression par centimètre carré n'est pas supérieure à 10 kilogrammes.

Cette distribution, adoptée pour le petit cylindre, a pour but de donner aux orifices d'admission de grandes dimensions nécessaires pour les machines marchant à cette vitesse, tout en réduisant, le plus possible, les dimensions des tiroirs; d'équilibrer les tiroirs de détente afin de les rendre sensibles à l'action du régulateur; d'obtenir, dans une limite très étendue, les variations de puissance de la machine, tout en conservant la détente sous la dépendance du régulateur.

Ces dispositions sont les suivantes :

La vapeur, arrivant dans la boîte à tiroirs A (fig. 3, pl. 46-47), est distribuée par un ou plusieurs orifices *a a*, débouchant dans un conduit circulaire *b b*, pratiqué dans le tiroir de distribution B. Le conduit *b* amène la vapeur sur la glace du cylindre, la distribution se faisant soit par un tiroir plan ordinaire, soit par un tiroir cylindrique. La détente est obtenue à l'aide de tuileaux [1] C cylindriques, à arètes héliçoïdales, comme dans la distribution Ryder.

Ces tuileaux peuvent être animés, sous l'action du régulateur R, d'un mouvement de rotation décrit plus bas, et qui permet de découvrir les orifices *a a*, également hélicoïdaux, pendant une fraction plus ou moins grande de la course.

Afin de diminuer les dimensions des pièces, et la distance entre les axes des tiroirs et l'axe du cylindre, le tiroir de distribution est conduit par deux tiges latérales *c*, *c*, assemblées par une traverse *d* qui conduit l'excentrique de distribution.

La disposition du conduit circulaire *b*, dans lequel viennent déboucher sur le pourtour de la glace cylindrique deux ou plusieurs orifices, donne de très grandes sections de passage pour la vapeur, pour un diamètre relativement faible, et, par suite, les dimensions des tiroirs peuvent être assez petites pour de grands orifices.

On voit aussi que les tuileaux cylindriques, à arètes héliçoïdales G, sont équilibrés, et qu'ils n'offrent aux mouvements de rotation et au mouvement rectiligne alternatif d'autre résistance que le frottement de leur surface extérieure sur la glace cylindrique du tiroir de distribution; ces tuileaux peuvent donc être facilement déplacés par l'action du régulateur.

Cette action est transmise à la tige *r*, sur laquelle sont calés les tuileaux, par un système de leviers et de bielle à joints articulés, d'ailleurs employés dans des machines semblables; mais le dispositif employé pour faire varier à la main les positions angulaires des tuileaux de descente est nouveau.

On remarquera d'abord que l'action automatique du régulateur sur les tuileaux est forcément limitée à un certain angle, qui, tout en permettant des variations d'admission étendues, ne suffirait pas cependant si la puissance

1 Ces tuiles ou tuileaux sont des plaques de détente qui glissent sur le dos du tiroir d'admission.

de la machine devait varier dans des limites très grandes. — On a donc été amené à adopter plusieurs positions des tuileaux de détente, telles que pour la machine de 200 chevaux, par exemple : le régulateur exerce son action automatique par des admissions variant de 0 à $\frac{2}{10}$, ce qui correspondra à une puissance limitée à 40 chevaux, travail développé à l'Exposition par cette machine motrice ; puis par un changement de position angulaire, l'admission pourra varier de $\frac{1}{10}$ à $\frac{5}{10}$ pour donner une plus grande puissance, l'admission pour la puissance normale de 200 chevaux à 100 tours étant de $\frac{3}{10}$ environ pour le cylindre à haute pression.

Pour obtenir ce résultat, la tige *r* (fig. 3), tourne à l'aide d'un levier *l*, muni d'un verrou *n*, qui s'enclenche dans les crans 1, 2, 3, pratiqués sur la douille du levier *o* commandé par le régulateur à l'aide de la bielle S.

Le levier *o* est fou sur la tige du tiroir, et le verrou *n* seul le rend solidaire de cette tige.

Le levier *l* étant au cran 2, par exemple, le levier *o* se trouvera enclenché, et la détente sera sous l'influence du régulateur pour des admissions variant de 0 à $\frac{2}{10}$, les positions respectives des tuileaux et des orifices ayant été réglées au préalable pour obtenir ces différentes admissions pour des positions angulaires variant dans les limites déterminées par le cran 2.

Pour la distribution du grand cylindre, on a adopté deux tiroirs plans ordinaires ayant double orifice d'admission et d'échappement, afin de diminuer la course de l'excentrique et d'augmenter les ouvertures des orifices, surtout au commencement de la course du piston.

Le prolongement de la tige du tiroir coulisse dans un guide carré qui l'empêche de tourner, et est commandé par l'excentrique à l'aide d'un tourillon placé sur le prolongement de la tige du piston.

Cette disposition permet d'augmenter la portée du palier afin de donner une surface suffisante pour un bon graissage.

Le régulateur isochrone est du sytème *Andrade*, et commande directement l'admission, comme nous venons de le voir ; de plus, il permet de faire varier le nombre de tours de la machine par le simple déplacement de son contre-poids mobile.

Pour les deux cylindres, les orifices se trouvent placés aux extrémités, de façon à diminuer les espaces nuisibles.

Les pistons sont en acier creux avec segments maintenus par quatre ressorts.

Condensation. — L'échappement du cylindre à basse pression se fait dans un tuyau vertical en cuivre rouge qui aboutit au condenseur placé dans le bâti même de la machine.

L'injection d'eau froide se fait par deux tuyaux, l'un de petit diamètre, placé

verticalement au sommet du tuyau d'échappement, l'autre plus gros, horizontal, placé à la jonction de ce tuyau avec le bâti.

La pompe à air, à simple effet, reçoit son mouvement d'un balancier actionné par la tête du piston du petit cylindre; son piston plein se termine légèrement en pointe.

Les clapets multiples d'aspiration et de refoulement sont métalliques.

Le volant en fonte est en deux morceaux; la machine a son mouvement graissé par des godets à gouttes visibles, et les cylindres par un oléomètre.

Machines Davey, Paxman et Cie

(Planches 48-49)

La maison Davey-Paxman a un type spécial de machine qui figure soit à son exposition particulière, soit à la station d'électricité Gramme.

La plus importante des machines de cette station que nous allons décrire est une machine couplée compound à bâti à baïonnette de 360 chevaux, chaque bâti venu de fonte d'une seule pièce forme glissière cylindrique et palier pour l'arbre intermédiaire et est boulonné au cylindre.

Les dimensions principales sont :

Diamètre du cylindre à haute pression. . .	$0^m,538$
— — basse pression . . .	$0,^m889$
Course commune.	$1^m,220$
Distance d'axe en axe	$3^m,354$

Sur l'arbre intermédiaire sont placés deux volants ayant chacun un diamètre de $4^m,268$ et $0^m,457$ de largeur de jante, le poids de chacun de ces volants est de sept tonnes et demie. Avec une pression de 8 kilogrammes aux générateurs et à la vitesse moyenne de 65 tours par minute, cette machine développe une puissance sur l'arbre de 350 chevaux qui sont utilisés à entraîner deux dynamos Gramme de 240 volts et 900 ampères pour le service des fontaines lumineuses et des lustres centraux de la Galerie des machines.

Cette machine, ainsi que toutes les autres exposées par MM. Davey et Paxman, est munie du système de détente automatique et du régulateur variable de M. Paxman, spécialement appropriés aux services d'éclairages électriques, pour le bon fonctionnement desquels il est de toute nécessité que le moteur ait une vitesse rigoureusement constante sous des charges variables.

Il se compose d'un tiroir plan ordinaire, de distribution dont les lumières se représentent successivement à des conduits pratiqués dans un diaphragme sur lequel coulisse le tiroir de détente, celui-ci est relié à une coulisse suspendue par une bielle pendante aux leviers du régulateur et actionnée par deux excentriques. Les excentriques sont à courses inégales, celui du haut permettant une admission des 5/8 de la course du piston, tandis que celui du bas coupe totalement la vapeur ; de cette façon la durée de l'admission à chaque demi-révolution dépend de la position de la coulisse qui est commandée directement par le régulateur.

Les ouvertures dans le tuileau sont doubles, de la sorte la course du tiroir de détente est très réduite, ce qui augmente la sensibilité du système.

Ce dispositif a le grand avantage de permettre une admission variable de 0 à 5/8 *avec une avance constante.*

On peut reprocher à ce dispositif d'employer trois excentriques, ce qui ne doit pas être sans inconvénients, non plus que la transmission du mouvement au régulateur qui se fait par une série d'engrenages.

Il y a en outre dans la station Gramme deux autres machines compound avec la détente que nous avons décrite au petit cylindre.

Les principales dimensions de la première sont :

Diamètre du cylindre HP. . . .	0^m,470
— — BP. . . .	0^m,724
Course commune.	0^m,699
Rapport des volumes	2^m,370

Les cylindres sont accolés et montés sur un bâti à poutrelle formé de plusieurs parties assemblées et boulonnées, ce qui est très avantageux pour le transport dans les pays éloignés.

La vitesse de cette machine est de 95 tours par minute et elle développe, avec 8 kilogrammes de pression aux générateurs, 250 chevaux absorbés par deux dynamos Gramme de 220 volts et 450 ampères qui alimentent les lampes à incandescence du Dôme central.

Les principales dimensions de la deuxième sont :

Diamètre du cylindre HP. . . .	0^m,324
— — BP. . . .	0^m,508
Rapport des volumes	2^m,470
Course commune.	0^m,610

Cette machine, avec 8 kilogrammes de pression et une vitesse de 105 tours, développe 125 chevaux utilisés par deux dynamos Gramme de 220 volts et 250 ampères qui alimentent 12 lampes des grands lustres de la Galerie des machines.

Nous donnons les résultats des essais suivants communiqués par la maison Davey et Paxman et faits sur une machine compound de 100 chevaux sans condensation.

Durée des essais	5h42'
Nombre de tours.	35550
Charbon brûlé	725k
Poids de vapeur consommé par la machine. .	6833k
Kilogrammètres indiqués.	173 millions.
Nombre de diagrammes indiqués.	68
Pression moyenne de la chaudière.	7k,520
Nombre de tours par minute (moyenne). . .	103,9
Chevaux indiqués au petit cylindre (moyenne).	55,3
— — grand — — .	55,7
Total.	111,0
Poids de vapeur consommé par cheval indiqué.	10k,8

Ces diverses machines ont leur mouvement lubrifié à la graisse. La vapeur est graissée à son arrivée au petit cylindre par un graisseur continu Paxman.

Machine compound tandem de M. Windsor

(Planches 48-49)

Cette machine est à détente variable par le régulateur et à condensation ; sa puissance est de 400 chevaux. Le grand cylindre est en tandem derrière le petit cylindre.

Les dimensions principales sont :

Cylindre HP, diamètre.	0,520
— BP, —	0,900
Course commune des pistons	1,250
Rapport des volumes.	3
Tours du volant par minute.	60
Volant, diamètre.	5m,50
Poids du volant.	25000k

Ce volant porte 16 gorges pour transmettre la force par câbles. Le boulon de crosse est à graissage central ainsi que la bielle motrice, comme nous l'avons indiqué précédemment.

Cette machine se distingue particulièrement par sa distribution de vapeur qui consiste dans l'adoption de deux soupapes équilibrées à l'introduction et de deux tiroirs circulaires ou obturateurs pour l'échappement.

La particularité essentielle de cette distribution consiste dans le groupement du mécanisme de détente et du régulateur de telle sorte que l'action de ce dernier sur la détente se produit immédiatement.

Le mécanisme de distribution est du système Proell.

Le mécanisme de détente se compose d'un levier à deux bras ayant des mouvements d'oscillation dans la direction des deux flèches figurées sur la planche 48-49; ces déplacements, provoqués par l'action d'un excentrique calé sur l'arbre volant, ont lieu autour d'un arbre horizontal w supporté par la colonnette du régulateur; à ce levier sont articulés deux cliquets K_1, K^2 qui soulèvent de chaque côté, alternativement, les deux soupapes d'introduction par l'intermédiaire de deux leviers h_1. L'extrémité de chaque cliquet repose sur une saillie que présente la fourche o, à cheval sur le bout de l'arbre w et fixée directement sur la tige du régulateur.

Par suite de la forme particulière et du mode d'attache des cliquets, l'extrémité du bec en acier par lequel ils actionnent les leviers h_1, tend à décrire, pendant le mouvement d'oscillation, un arc de cercle. Si, par exemple, le cliquet de gauche agit de haut en bas, il ouvre la soupape jusqu'à ce que l'inclinaison de l'arc devienne assez grande pour que les extrémités garnies d'acier du cliquet et du levier h_1, cessent d'être en contact; alors la soupape se referme sous l'action du ressort à boudin contenu dans *dash-pot*, un petit réservoir d'air. Le cliquet de droite, pendant ce temps, suit l'oscillation du levier de bas en haut sans exercer aucune action sur la soupape.

En montant ou en descendant sous l'action du régulateur, la fourche o produit entre les becs des cliquets et les extrémités des leviers de soupapes, un contact plus ou moins prolongé; par suite le dégagement de ces leviers se trouve avancé ou retardé. On obtient par cette disposition une action prompte et directe sur l'introduction de la vapeur dans le cylindre.

Une autre particularité de la forme spéciale des cliquets et de la manière dont ils fonctionnent vient non seulement de ce que leurs becs ont une large surface de contact, même pour les petites introductions, ce qui empêche une usure prématurée, mais aussi du très petit chemin que la pièce à fourche o doit parcourir pour faire varier considérablement l'introduction.

Dans les machines de puissance moyenne, cette course ne dépasse pas 15 millimètres. Il est donc possible de faire agir sur la détente un régulateur relativement petit avec une grande énergie; celui qui est employé dans cette machine est construit d'après le système Proell.

Comme on le voit sur la planche 48-49, la tige qui traverse la tige creuse du régulateur s'assemble au moyen de deux doubles écrous, avec une traverse t

actionnée par deux petits bras de leviers en retour d'équerre, ceux-ci appartiennent aux tiges de suspension supérieures des boules.

Si, par exemple, pour un changement de vitesse de 1/50 on a dans l'ensemble en forme d'urne constitué par les tiges de suspension, une force de 1 kilogramme le rapport adopté par les bras de leviers multiplie la force dans le rapport de 4 à 1, ce qui permet de disposer sur la tige de commande *r* de 4 kilogrammes ; on a ainsi la possibilité de faire varier la détente d'une manière précise et prompte, sans être gêné par les frottements : de là dépend la grande régularité de marche observée dans ces machines.

L'action du coussin d'air est complétée par un ressort à boudin *f* légèrement tendu, sur lequel le piston *q* du réservoir d'air repose en dernier lieu, de telle sorte que la soupape, quelle que soit sa levée, retombe toujours doucement sur son siège, condition indispensable pour sa durée et la douceur de la marche de la machine.

Un écrou permet de régler la tension du ressort F.

Les organes de distribution à l'échappement de cette machine à vapeur consistent en des tiroirs circulaires, genre Corliss, placés au bas, sur le côté des cylindres et actionnés directement par un excentrique.

La position de ces tiroirs permet l'écoulement direct de l'eau de condensation et présente toutes les garanties de sécurité et de bon fonctionnement.

Les cylindres de ces machines sont rapportés dans des enveloppes de circulation de vapeur, condition essentielle pour le maintien de la température dans le cylindre et par suite pour la réalisation de la plus grande économie de combustible ; de plus ces enveloppes en fonte sont elles-mêmes recouvertes par des enveloppes en bois cerclées en cuivre et garnies intérieurement de calorifuge.

Le condenseur de cette machine est du système vertical à deux corps présentant un système à double effet, il est placé en arrière du grand cylindre à vapeur, sous sol, et actionné par le prolongement de la tige du piston de ce cylindre au moyen d'un grand levier de balancier et guidé par une glissière spéciale.

Le bâti de la machine est du type nouveau genre Corliss, il fait corps avec le palier de la manivelle, la glissière de ce bâti est cylindrique.

Le volant de cette machine est construit en deux parties, il porte 16 gorges pour transmettre par câbles la puissance du moteur ; une particularité à noter dans la construction de ce volant, c'est qu'il y a un système de garniture en bois entre les bras pour éviter le déplacement de l'air par ceux-ci et réduire par conséquent la résistance à sa force centrifuge.

Machines Chaligny et Cie

(Planches 50 à 53)

La machine de la maison Chaligny et Cie, est une machine compound de 55 à 80 chevaux.

La consommation de vapeur par heure et par force de cheval est de $8^k,200$.

La consommation d'eau pour la condensation est par cheval et par heure de 180 litres.

Les dimensions principales sont :

Diamètre du cylindre H. P.	0,280
» » B. P.	0,485
Course des pistons	0,500
Rapport des volumes.	3

Admission variable à la main dans le petit cylindre de $\frac{1}{10}$ à $\frac{6}{10}$.

Admission fixe dans le grand cylindre $\frac{5}{10}$.

Le condenseur est actionné par la tige du grand cylindre. Les glissières sont cylindriques. La distribution permet de faire varier la détente à l'aide d'une coulisse, la manœuvre se fait à la main. Le tiroir employé est du système Trick ou à canal.

Cette machine fonctionne dans de très bonnes conditions. C'est un bon type courant simple.

La machine mi-fixe compound, sans condensation de 30 chevaux exposée, dépense $13^k,250$ de vapeur par heure et par cheval. Par l'addition d'un condenseur semblable à celui que nous décrivons plus loin sa consommation descend à $10^k,300$.

L'introduction peut varier de $\frac{1}{10}$ à $\frac{6}{10}$ pour les machines compound à condensation et de $\frac{1}{10}$ à $\frac{8}{10}$ pour les machines sans condensation.

Le régulateur de ces machines à masse centrale et à grande vitesse permet d'assurer la régularité de marche à 2 % près. Le patin de crosse est à rattrapage de jeu. La détente au grand cylindre est fixe. Cette machine est munie de deux poulies-volants, chacune en une pièce.

MM. Chaligny et Guyot-Sionnest ont construit un condenseur double à eau régénérée afin de pratiquer la condensation dans les machines à vapeur avec une quantité d'eau minime.

La vapeur d'échappement au sortir du cylindre de la machine est reçue dans un condenseur par mélange; l'eau chaude expulsée ou condensée par la pompe

à air est envoyée au réfrigérant ; c'est l'organe capital du système dans lequel l'eau tombe par le haut et traverse des fascinages en recevant l'action d'un ventilateur.

L'eau refroidie sert de nouveau à la condensation : au-dessus du condenseur par mélange est un condenseur par surface, l'eau de condensation déjà échauffée là, va en partie au réfrigérant et sert aussi à l'alimentation.

Le rapport présenté en 1888 par M. Hirsch à la Société d'encouragement donne le tableau suivant résultant d'expériences faites à la Compagnie de l'Est sur une machine mi-fixe compound de 30 chevaux environ.

	MARCHE	
	à échappement dans l'atmosphère	à condensation
Durée de l'expérience	9 h.	9 h.
Admission au cylindre de HP.	55 %	36,7 %
Puissance en chevaux indiqués	30,66	29,38
» » au frein	24,25	24,12
Consommation d'eau totale	3074 litres	1787 litres
» » par cheval-heure indiqué.	11,148 »	8,235
» » » » au frein.	14,1089 »	6,644
Consommation de houille totale	360k	235k
» » par cheval-heure indiq.	1 ,294	0 ,869
» » » » au frein	1 ,649	1 ,083
Vide		0,50
Pression d'air au réfrigérant		3 mm. d'eau
Température moyenne de l'eau extérieure . .	11°	10°
» de l'eau au sortir du condenseur .		58 ,1
» de l'air extérieur		19 ,8
» de l'air au sortir du réfrigérant .		38 ,5

Nous donnons planche 52-53, le dessin d'une machine mi-fixe compound de 15 chevaux construite par la maison Chaligny et Cie.

Société anonyme du Phénix, de Gand

(Planches 54-55)

La Société anonyme du Phénix expose une fort belle machine compound de 400 chevaux à deux cylindres horizontaux situés parallèlement de chaque côté du volant.

Cette machine n'a qu'une glissière et est munie d'une distribution spéciale de M. Hertay, ingénieur en chef de cette société.

M. Hertay attribue le bon résultat économique des machines à quatre distributeurs à la diminution de l'espace nuisible, à la vitesse du piston ; mais pour lui la fermeture rapide des obturateurs n'a qu'une influence secondaire, c'est-à-dire que le laminage de la vapeur n'est pas aussi nuisible qu'on le croit, il s'appuie sur l'avis de MM. Hirn et Marcel Desprez et de nombre de praticiens qui pensent qu'en effet, et surtout en cas de vapeur chargée d'eau entraînée, le laminage n'est pas une mauvaise chose.

La machine de M. Hertay est réglée avec une certaine compression qui permet de réchauffer les fonds de cylindres, de diminuer les forces d'inertie à fond de course et par conséquent d'aborder d'assez grandes vitesses de piston.

Dans le système *Hertay* la distribution est produite par un tiroir principal partagé en deux T.T (voir la coupe par l'axe du cylindre, pl. 54-55) qui reçoit d'un excentrique un mouvement invariable.

Chacune des parties TT de ce tiroir, présente un canal pour l'admission et un canal pour l'échappement mis en relation en temps opportun avec le conduit d'échappement du cylindre vers le condenseur.

Sur le dos du tiroir principal, se meut un tiroir ou glissière de détente *g*, *g*, dont le mouvement participe en partie du mouvement du tiroir principal et en partie de celui d'un excentrique de détente.

A cet effet la barre B de l'excentrique de détente commande une pièce qu'en raison de ses fonctions on a appelée bloc distributeur. Le bloc distributeur affecte différentes formes ; pour les besoins de cette description, il est suffisamment représenté sur le détail du tiroir.

C'est une pièce évidée qui reçoit son mouvement de la barre d'excentrique par l'intermédiaire d'un système de renvoi et des deux tourillons *p p* ; dans certains types de machines elle est commandée directement.

Les deux extrémités du bloc sont façonnées en forme de douilles et reçoivent les tiges qui communiquent les mouvements aux tasseaux de détente. Ces tiges sont clavetées dans des taquets *t*, *t* dont la face extérieure est droite et dont la face intérieure présente une certaine inclinaison ; entre les faces internes peut jouer un coin qui accomplit dans tout ce qui va suivre un rôle important. Ce coin guidé dans des rainures ménagées dans les faces du bloc ou bien de toute autre manière sera d'abord supposé au fond de sa course comme ce qui est représenté en trait plein.

M. Hertay emploie pour l'étude de son tiroir, une méthode dérivée de l'épure de Zeuner et permettant d'établir d'une façon simple l'étude générale d'un tiroir de détente à plaque superposée mobile par un excentrique.

La manivelle étant dans une position quelconque *o*M, le centre de l'excentrique du tiroir en E, celui de l'excentrique de détente en E', le tiroir est reporté

à gauche de sa position moyenne de oe, le centre du bloc distributeur est distant de sa position moyenne de oe'. Ainsi le tiroir est en retard sur les tasseaux de détente de la quantité $oe' - oe = ee'$, or ee' est la projection de la ligne. EE' qui joint les deux centres, on peut l'obtenir en menant oE égale et parallèle à $E'E'_1$; oE_1 est l'excentrique fictif qui résulterait de la composition de oE avec un excentrique égal et opposé à oE' ; sa projection $oe = e'e$ donne toujours l'écart relatif du centre du tiroir relativement au centre du bloc ou des tasseaux de détente.

On sait que les écarts du tiroir principal sont donnés par les rayons vecteurs du cercle de diamètre oE_1 ceux du centre du bloc distributeur seraient donnés par le cercle tracé avec un diamètre oE'. α et α' sont les angles d'avance portés à partir de M, en sens contraire du mouvement. Le cercle des écarts relatifs des centres s'obtiendra en prenant son diamètre oE_1 suivant la résultante de oE et de oE'_1 égal et opposé à oE^1_1 d'après ce qui a été dit plus haut.

On peut tracer pour suivre un tour de manivelle le deuxième cercle oE_2. Pour obtenir la position relative des centres pour la position M du bouton de manivelle, on trouve que le tiroir est en retard sur les tasseaux de la quantité oe_1 au point mort M_0 ce retard est oe_1.

Pour savoir ce qui se passe sur la face droite du piston, on aura donc à prendre seulement l'orifice de droite du cylindre.

Le coin étant à fond, c'est-à-dire le bloc distributeur étant invariablement lié aux deux tasseaux, on peut réaliser une introduction nulle sur la face droite du piston. Il suffira, les tiroirs aussi bien que les tasseaux étant dans leur position moyenne, de donner aux tasseaux un recouvrement $l = oe_o$; en effet, lorsque la machine sera au point mort, le tiroir étant en retard par rapport aux tasseaux de $oe_0 = l$, on voit que la position relative sera obtenue en déplaçant sur la figure, le tiroir vers la droite d'une quantité l ; la fermeture est donc opérée précisément au point mort et ne fait que s'accentuer de plus en plus.

Pour la position de manivelle oN le tiroir est en retard sur les tasseaux de la quantité la plus grande oE_2 ; il faut qu'à ce moment les canaux du tiroir soient entièrement ouverts pour l'introduction qui va se préparer à partir de M_o, car s'ils ne l'étaient pas, ils ne le seraient pour aucune autre position.

Ainsi pour le parcours NM_o de la manivelle, le tiroir avance par rapport aux tasseaux d'une quantité égale à la largeur λ des canaux partiels du tiroir on doit donc avoir $\lambda = oE_2 - oe_o$.

Proposons-nous en second lieu, de faire cesser l'introduction lorsque la manivelle est arrivée en oM, le tiroir ayant pris par rapport aux tasseaux une avance oe_1 on sait que les canaux seraient déjà recouverts d'une quantité $oe_o - oe_1$, si le coin avait été laissé à fond ; pour que le recouvrement soit nul en ce point il faut le diminuer de $oe_0 - oe_1$ ce qui s'obtiendra en relevant le

coin dans la position pointillée, figurée de manière à ménager un jeu $mn = oe_0 - oe$, point où se produit la butée du taquet contre le coin, à partir du moment où se produit le contact entre le taquet et le coin. Le tiroir dont le retard relatif par rapport aux tasseaux diminue de plus en plus, referme ses canaux d'un mouvement non interrompu ; au moment où la butée a lieu, la position relative est celle de b, la fermeture complète ayant lieu dans la position de la figure, il suffira de prendre oe_1 et d'y ajouter λ, de chercher la position de la manivelle pour laquelle le retard est $oe_1 + \lambda$ on trouvera ainsi oM'.

Cette machine bien étudiée fonctionne dans de bonnes conditions et sa distribution est robuste et facilement visitable.

Cette machine est munie de graisseurs Stopfer pour le mouvement et de graisseurs à huile pour les cylindres et tiroirs.

Le volant, en deux parties, a 14 gorges pour câbles.

Les dimensions principales sont les suivantes :

Diamètre petit cylindre.	$0^m,620$
» grand »	$1^m,000$
Rapport des volumes	2.60
Course commune	$1^m,250$
Nombres de tours	60

Cette machines développe 400 chevaux indiqués à une pression initiale de 5 atmosphères pour une introduction de 30 à 35 % au petit cylindre.

Machine Corliss compound de MM. Berger-André

(Planches 54-55)

La machine exposée est du type Corliss compound, à distribution Berger-André.

Elle est composée de deux cylindres de diamètres différents dont les manivelles sont calées à environ 90 degrés.

Chaque cylindre est relié à son palier par un bâti à baïonnette formant glissière. Le petit cylindre, à double enveloppe de vapeur, reçoit directement la vapeur de la chaudière ; les obturateurs d'admission et d'évacuation sont actionnés par un système de bielles recevant le mouvement par un excentrique unique. La durée de l'admission est réglée par le régulateur agissant sur un déclic.

En sortant du petit cylindre, la vapeur se rend dans un réservoir à double enveloppe recevant directement la vapeur de la chaudière. De là, elle est distribuée dans le grand cylindre à double enveloppe de vapeur, muni aussi de tiroirs circulaires, et dont les obturateurs d'admission sont actionnés par un excen-

trique spécial dont la position règle la détente. Un second excentrique actionne les obturateurs d'échappement.

La vapeur d'échappement du grand cylindre se rend au condenseur, qui est placé sous le bâti, et qui est commandé par la manivelle par l'intermédiaire d'une bielle verticale et d'un balancier horizontal.

Les dimensions principales de cette machine sont :

Diamètre du petit piston...........................	0^m,355
— du grand —	0^m,560
Rapport des volumes...............	2 ,40
Course des pistons................................	0^m,910
Nombre de tours par minute........................	70

Un des avantages de cette machine consiste dans la simplicité de son déclenchement, que nous décrivons :

Celui-ci se compose d'un excentrique *c*, entouré d'un collier *b*, portant un cliquet mobile *e*, qui tourne sur le support creux *d* de la tige de l'obturateur.

Le mouvement alternatif donné par l'excentrique de distribution aux organes de l'échappement est transmis par la bielle *a* au collier *b*. Le cliquet *e* appuie sur une des extrémités du levier double *f* qui est calé sur l'axe des tiroirs de distribution.

L'autre extrémité de ce levier *f* est reliée par la bielle *g* à un piston atmosphérique qui assure la fermeture instantanée du tiroir de distribution. L'excentrique *c* est actionné par le régulateur par l'intermédiaire des bielles *h* et du levier à trois branches *i*. Pendant que le collier *b* est mis en mouvement par la bielle *a*, le cliquet *e* qu'elle porte est rapproché ou éloigné du centre *x*, suivant la position donnée par le régulateur à l'excentrique *c*. Par suite, la durée du contact entre le cliquet *e* et le levier *f*, qui détermine celle de l'admission, sera plus ou moins longue, et l'admission maximum est plus grande que dans la machine Corliss primitive.

Au moment de l'interruption du contact, la fermeture brusque de l'admission a lieu par suite du rappel du levier *f* par la tringle *g* du piston atmosphérique.

L'excentrique *c* porte une came *k* qui, en cas de rupture de la courroie motrice du régulateur, vient soulever le cliquet *e* et empêche ainsi toute admission de vapeur.

On voit, par la figure, qu'un très faible déplacement de l'excentrique suffit pour faire varier la durée de l'admission, et qu'ainsi la parfaite régularité de la marche est assurée.

Pendant les mouvements circulaires et alternatifs des pièces de déclenchement autour du point central, le cliquet *e* reste toujours normal au levier *f*, de telle sorte que l'enclenchement est toujours assuré, ce qui permet de donner à

la machine une grande vitesse, qui est encore favorisée par la suppression complète de tout presse-étoupes.

L'étanchéité est obtenue, pour les tiges d'obturateurs, par un joint métallique, et pour la tige du piston, par une garniture entièrement métallique. La machine est munie de graisseurs Stopfer, et pour les cylindres, du graisseur par pression Mollerupt. Le boulon de crosse est à graissage central.

La pompe du condenseur, placée dans le sous-sol, est actionnée par la manivelle motrice du grand cylindre.

Les pistons des machines sont munis d'anneaux métalliques assurant une bonne étanchéité.

Les têtes de piston, en acier, portent des glissières maintenant invariablement la marche des bielles dans le même plan, et qui sont réglables au moyen de coins mobiles.

Pour éviter tout retour d'eau du condenseur au cylindre, au cas où la machine tournerait sans vapeur, avec le robinet d'injection d'eau ouvert, une soupape reniflard, permettant de régler le degré de vide au condenseur, est montée sur la chambre de condensation, qui reçoit en outre elle-même un flotteur à soupape qui s'ouvre lorsque l'eau atteint un niveau anormal, et permet une entrée d'air empêchant le vide d'être plus élevé dans le cylindre que dans le condenseur.

Cette machine, des mieux construites, est un des meilleurs types de machines à quatre distributeurs.

Machine compound en tandem de MM. de Ville-Châtel et Cie, de Bruxelles. (Système J.-R. Frikart)

(Planches 57-58)

Cette machine, destinée à marcher à grande vitesse (175 tours) et propre, par conséquent, à la production de la lumière électrique, est munie de quatre distributeurs à chaque cylindre, mais sans déclic, disposition motivée par la grande vitesse de rotation de la machine.

Les deux cylindres sont en tandem et le réservoir intermédiaire est au-dessus du grand cylindre, et le condenseur en dessous. La régularité de marche est assurée par un appareil situé dans le volant, et analogue à ceux que nous avons décrits (Armington, etc.)

La course commune des pistons est de $0^{m},400$ et les diamètres des cylindres sont de 400 et de 220 millimètres. Cette machine développe un travail de 80 chevaux. Le rapport des volumes des cylindres est de 3,30.

Cette machine, très compacte, tenant peu de place, est très bien exécutée.

Machine compound de la Société de l'Horme

(Planches 59-60)

Cette machine est à deux cylindres accolés n'ayant qu'une seule enveloppe extérieure. Cette machine est caractérisée par sa distribution avec mouvement de la détente à vapeur, du système Bonjour.

La machine de 250 chevaux de ce type a pour diamètres de cylindres 400 millimètres et 690 millimètres, et une course commune de 800 millimètres et fait 100 tours par minute.

Le tiroir principal de la distribution conduit par l'excentrique détermine, comme à l'ordinaire, l'avance, l'échappement et la compression.

A l'intérieur de ce tiroir, s'en trouve un autre, dit tiroir de détente, qui a pour fonction de fermer rapidement l'orifice d'admission au moment voulu de la course du piston.

Ce petit tiroir circulaire équilibré, est relié à une tige qui peut se déplacer parallèlement à l'axe des cylindres et qui porte un petit piston à chacune de ses extrémités. L'un de ces pistons se meut dans un cylindre à vapeur, et, par suite du mouvement alternatif d'un distributeur spécial, il reçoit successivement la pression sur chacune de ses faces. Il est donc animé lui-même d'un mouvement de va-et-vient, et ce mouvement, transmis au tiroir de détente, produit instantanément l'obturation alternative des orifices d'admission au cylindre moteur.

L'autre petit piston fonctionne de la même façon dans un cylindre amortisseur à eau, P, placé à l'arrière de la machine, et il a pour but d'annihiler les chocs qui pourraient se produire à chaque changement de direction du tiroir de détente.

Le distributeur qui, avons-nous dit, commande le tiroir de détente, est actionné par un mouvement elliptique combiné avec une coulisse C, dont la résultante est un mouvement angulaire variable ; ce mouvement obéit lui-même directement au régulateur. Quelle que soit la position de ce dernier, les admissions avant et arrière sont égales.

Ce régulateur est étudié de telle sorte qu'au fur et à mesure de l'accroissement de la force centrifuge par suite de l'agrandissement du cosinus de l'angle d'écartement des masses régulatrices, le moment de la masse centrale augmente proportionnellement : c'est une cause d'influence perturbatrice évitée ; il est donc d'une grande stabilité.

Le mécanisme de détente permet de varier l'admission de 0 à 70 % de la course du piston du régulateur.

Ce mode de détente est ingénieux, mais pour donner de bons résultats pratiques, il exige une construction très soignée.

La distribution que nous venons de décrire est celle du petit cylindre.

Le grand cylindre devant débiter intégralement le volume de vapeur détendue dépensé par le petit, et le volume de ce petit cylindre étant constant, il en résulte que le volume introduit dans le grand cylindre doit être également constant, quel que soit le travail développé par la machine.

En outre, le volume des cylindres étant dans le rapport de 1 à 3, il faut que la durée de l'introduction dans le grand soit le tiers de la course du piston.

On la fait un peu plus forte pour être certain que la vapeur dépensée par le petit cylindre soit complètement absorbée par le grand. Cette distribution au grand cylindre se fait à l'aide d'un seul tiroir spécial, commandé par un seul excentrique.

Les deux cylindres sont accolés, et les pistons attaquent un arbre coudé assez faible, muni de deux poulies-volants. Les glissières sont à section circulaire.

Le condenseur est placé latéralement, la bielle d'attaque prend son mouvement sur l'arbre moteur.

Les têtes de bielles sont graissées par des lécheurs à chaque révolution.

Machine compound de 180 chevaux fournissant l'eau aux appareils hydrauliques du Port du Havre

(Planches 61-62)

La Compagnie des Forges et Chantiers de la Méditerranée a construit deux machines semblables de 180 chevaux capables de refouler 1 000 litres d'eau par minute à la pression de 60 kilogrammes par centimètre carré.

Les cylindres de ces machines ont $0^{m},550$ et $1^{m},100$ de diamètre et $1^{m},100$ de course. Soit un rapport de 4.

Le petit cylindre est à distribution Meyer, les cylindres sont à enveloppe de vapeur.

Machine compound construite par la Maison J. Le Blanc

(Planches 61-62)

Cette machine dont nous donnons ci-contre les diagrammes est devenue d'un type courant et a été établie pour actionner les pompes du Bon Marché. Ce type très ramassé et bien construit peut être adopté dans bien des cas.

Nous joignons également le dessin des cylindres des locomobiles compound construites par cette maison qui expose une machine mi-fixe qu'on peut munir de roues de la force de 12 chevaux.

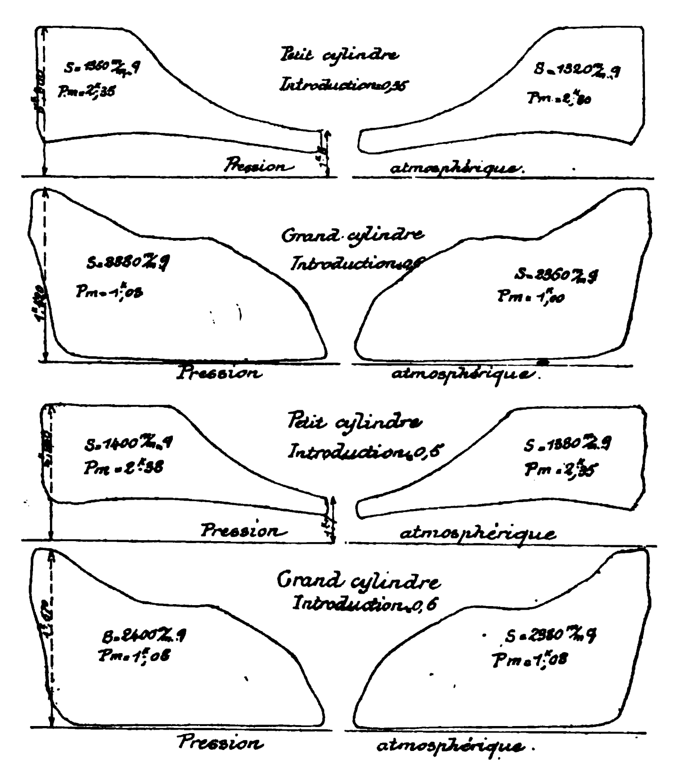


FIG. 19. — DIAGRAMMES PRIS SUR LA MACHINE COMPOUND DE LA MAISON J. LE BLANC

Diamètre du piston	0m,230
Course	0m,360
Vitesse	100 tours.
Introduction.	1/4
Timbre	6 k. 50

Machine compound mi-fixe de 80 chevaux de M. Ch. Bourdon

(Planches 63-64)

Cette machine dont nous joignons le dessin a un condenseur à surface.

Elle fonctionne à une pression de 7 kilogrammes, les diamètres des cylindres sont 560 et 330 et la course commune de 560 millimètres, soit un rapport de volume égal à 2,88. La chaudière est à foyer amovible.

Machine élévatoire Worthington

Cette machine fort intéressante est employée à l'élévation des eaux du service de l'exploitation ainsi qu'une machine Wheelock à grille.

Pour les machines à vapeur à travail constant on peut distinguer plusieurs périodes dans le fonctionnement. Prenons par exemple, et c'est le cas présent, une pompe :

1re période : pleine admission, excès de puissance sur la résistance ;

2e période : commencement de la détente, égalité entre la puissance et la résistance ;

3e période : fin de la détente, avance à l'échappement, infériorité de la puissance sur la résistance.

Donc nécessité absolue du volant formant réservoir de puissance vive.

M. Worthington a recherché le moyen de supprimer le volant, l'arbre et les manivelles.

Il y est arrivé de la façon suivante :

Deux petits cylindres oscillants M et M' sont reliés au prolongement de la tige des pompes. Ces cylindres communiquent soit directement, soit par l'intermédiaire d'un accumulateur avec l'eau de la conduite de refoulement.

Ces pistons sont donc soumis à une pression proportionnelle à celle de la conduite de refoulement.

Or les pistons sont articulés à rotule sphérique sur la tige du piston et les cylindres peuvent osciller autour d'un point fixe O. (Voir fig. 12, p. 43).

Il en résulte que, d'après leur orientation, d'après l'angle qu'ils font avec la tige horizontale considérée, on a un effort positif ou négatif dans l'axe de la tige (position M_1 et M_2), avec un effort nul quand l'angle des tiges de piston auxiliaires avec l'axe de la pompe est de 90° (position M_2).

On peut donc ainsi absorber l'excédent d'énergie pour le rendre ensuite et avoir un rapport uniforme entre l'action des pistons auxiliaires et la charge de la colonne de refoulement.

Cette solution est fort élégante et la machine construite sur ce principe qui est de très grandes dimensions, car elle peut donner 24000 mètres cubes par jour, fonctionne dans de bonnes conditions depuis l'ouverture de l'Exposition.

La machine à vapeur proprement dite est une compound en tandem ainsi que le montre le dessin fig. 11, p. 42, chaque cylindre est à quatre distributeurs.

Le volume intermédiaire est muni d'un sécheur tubulaire à vapeur directe.

Les obturateurs d'admission et d'échappement sont en cascade ce qui a l'inconvénient d'augmenter un peu les espaces morts. Les obturateurs d'admission du cylindre de gauche sont mûs par la tige du cylindre de droite et inversement.

Les obturateurs d'échappement sont mûs par la tige du piston du cylindre auquel ils appartiennent.

Le condenseur a sa pompe horizontale et actionnée par le balancier K.

L'arrivée de vapeur est munie en C d'un sécheur de vapeur.

Les dimensions de cette machine sont les suivantes :

Diamètre du petit cylindre	381 millimètres.
Diamètre du grand cylindre.	762 »
Soit un rapport de 4 entre les volumes	
Course	650

Cette machine fonctionne avec 6 kilogrammes de pression à l'admission.

Machine compound, construite par M. Boulet

Cette machine horizontale a ses deux cylindres accolés et fondus avec une même enveloppe.

Les diamètres des cylindres sont 350 et 580 avec une course de 700 millimètres, ce qui donne un rapport de 2,74 entre les volumes.

Cette machine à 70 tours développe 140 chevaux.

Le grand cylindre est à détente fixe.

Le petit cylindre a un tiroir à plaques glissantes. Les plaques supérieures sont actionnées par une coulisse (détente Bonjour) et reçoivent l'action du régulateur.

Le condenseur situé dans le sous-sol est actionné par une manivelle calée sur l'arbre moteur.

Le volant de cette machine d'une seule pièce porte une courroie.

Ce type de machine est courant et solidement établi.

Compresseurs d'air de la Société Cockerill

Les cylindres à air sont disposés en tandem sur les cylindres d'une machine compound à condensation.

Les cylindres à vapeur vont attaquer un arbre portant un volant au milieu de sa longueur.

Les bâtis sont à baïonnette. La pompe du condenseur est commandée par une contre manivelle.

Le cylindre à haute pression est muni de la détente Meyer. Le régulateur n'agit pas sur la détente, car le travail est constant, mais sur l'admission de vapeur pour éviter une marche trop rapide.

Le tiroir du cylindre à basse pression est à canal, système Trick.

Cette machine fait 45 tours et emploie de la vapeur à 8 atmosphères. La course est de $1^m,200$ et les diamètres des cylindres à vapeur $1^m,150$ et $0^m,700$, ce qui donne un rapport de 2,69 entre les volumes.

Cette belle machine est destinée à la Société parisienne d'air comprimé.

Machine à vapeur horizontale compound de la Maison Sulzer

(Planches 65-66)

Cette belle machine est construite d'après le système à soupapes bien connu, avec cylindres à haute et à basse pression disposés l'un à côté de l'autre, de 500 et 800 millimètres, rapport des volumes 2,54 ; 1400 millimètres de course des pistons, faisant 75 révolutions par minute ; en travaillant à une pression initiale de 7 $^1/_2$ atmosphères au cylindre à haute pression et avec condensation cette machine développera avec une admission de 10, 20, 30 et 40 % un travail de 265, 360, 430 et 500 chevaux effectifs.

Cette machine a une vitesse de piston de $3^m,500$ par seconde.

En principe, le mouvement de distribution est le même que pour la machine exposée en 1878 ; mais il a été simplifié pour les soupapes d'admission du petit cylindre, ainsi que pour les soupapes d'échappement du cylindre à basse pression, en adoptant l'élément le plus sûr, c'est-à-dire les cames que l'on a en outre construites en deux parties pour pouvoir les ajuster.

Le mouvement des soupapes d'admission pour le cylindre à basse pression se fait d'une manière tout à fait analogue, en suivant le principe, que l'admission au grand cylindre doit être fixe et correspondre au rapport des volumes des deux cylindres. Il est bien entendu que les cames sont réglables comme celles de l'échappement pour pouvoir régler à l'aide de l'indicateur.

Avant d'entrer aux cylindres mêmes, la vapeur traverse les enveloppes. L'enveloppe du grand cylindre sert aussi de réservoir. MM. Sulzer ont abandonné complètement le réservoir intermédiaire lequel, d'après les essais comparatifs qu'ils ont faits, ne présente pas d'avantage.

Des essais faits avec une machine tout à fait égale à celle exposée ont donné une consommation de 6 k. 353 de vapeur par cheval *indiqué* et par heure, y compris toutes les eaux de condensation des enveloppes.

Le graissage se fait au moyen de petites pompes, lesquelles aspirent l'huile

tombant d'un réservoir, elles sont à débit visible et peuvent être réglées à volonté. Les têtes de bielles sont graissées par le centre par un graisseur à force centrifuge.

Les tiges des pistons sont de fort diamètre et les presse-étoupes renferment des garnitures métalliques, qui se prêtent parfaitement pour soutenir les poids des tiges, tandis que les pistons mêmes sont du type *Ramsbottom* lesquels, surtout à cause de leur petit poids, offrent des avantages notables pour les grandes vitesses.

Les crossettes, les bielles, les manivelles et l'arbre de couche ont des tourillons de dimensions très fortes pour présenter beaucoup de surface et réduire ainsi la pression par centimètre carré.

La pompe horizontale du condenseur est à double effet et disposée au-dessous de la manivelle du cylindre à basse pression qui attaque directement la bielle de la pompe. Le volant en deux pièces est muni de 14 gorges.

La maison Carels de Gand expose une machine semblable de 350 chevaux.

Ces machines sont d'une exécution remarquable et étant donné qu'on accepte la soupape comme distributeur, nous ne croyons pas qu'on puisse trouver de meilleur type, plus étudié que celui des machines exposées.

Machine Olry et Granddemange

(Planches 67-68)

MM. Olry et Granddemange exposent une machine compound dont la distribution fort ingénieuse est construite de la façon suivante (fig. 6 et 7).

Sur la table du cylindre B est montée une boîte à vapeur G. Dans cette boîte à vapeur est un tiroir C à distribution intérieure afin qu'il n'y ait d'autres espaces nuisibles que ceux dûs aux conduits du cylindre, lesquels sont très courts Ce tiroir C est guidé dans le sens vertical entre les faces D et E de la boîte et fonctionne entre deux glaces : celle A du cylindre et celle F d'une autre pièce, fixe dans le sens du mouvement longitudinal, maintenue qu'elle est, entre les butées FF. Cette pièce F porte verticalement : 1° Deux coussinets QQ ; 2° intérieurement, une portion de glace circulaire ou cylindrique P, percée d'une lumière L débouchant sur le dos du tiroir (cette glace circulaire est excentrée d'une (certaine quantité) au 1/4 par rapport aux coussinets QQ ; 3° enfin, un obturateur cylindrique M en bronze, dont les tourillons en acier s'ajustent dans les coussinets QQ (cet obturateur est de même rayon que la glace circulaire P, mais ses tourillons sont forcément excentrés de la quantité signalée ci-dessus). La glace F est pressée contre le tiroir G : 1° Principalement par l'action de la vapeur ; 2° en outre, par quatre

ressorts à boudin *tttt* logés sur les tiges prolongées des 4 vis montées sur le dos de la boîte à vapeur G. (Ces vis ont pour fonction principale de venir buter à 1/2 millimètre de jeu sur les paliers du siège de l'obturateur, afin qu'un décollement accidentel ne puisse exposer la glace F à être écartée violemment du dos du tiroir C.) Le tiroir C est construit pour une introduction de 8/10 de la course du piston ; les choses sont disposées de façon que, à certains moments, il démasque totalement l'orifice L et l'un ou l'autre des orifices d'introduction du cylindre. L'obturateur M est destiné à produire l'occlusion de l'orifice L de manière que l'introduction au lieu de se faire pendant les 8/10 de la course, comme le permet le tiroir C, varie comme le travail a produire entre 0 et 8/10. A cet effet, l'obturateur M est commandé par une manivelle S montée sur le prolongement indépendant des tourillons de l'obturateur (l'axe de la manivelle S et les tourillons de l'obturateur sont indépendants pour que l'usure possible des glaces n'influe en rien sur la verticalité des deux axes ; ils sont reliés entre eux par deux manivelles d'entraînement *rr*), la manivelle S est, d'une part, constamment soumise à la tension d'un ressort V (fig. 5), qui tend à produire le mouvement de fermeture de l'obturateur, et, d'autre part, sollicitée à certains moments, par la bielle U, travaillant sous traction du régulateur en sens contraire du ressort V, et produisant par suite les mouvements d'ouverture de l'obturateur. Les deux mouvements de l'obturateur se produisent donc de la façon suivante : Lorsque la bielle U devient libre, l'obturateur est sous l'action du ressort V, brusquement lancé sur son siège où il s'appuie énergiquement à la façon d'un coin ; quand la bielle U prend son mouvement opposé, elle commence à décoller l'obturateur M de son siège ; alors cet organe se trouvant enveloppé de vapeur de toutes parts, est parfaitement équilibré et, par suite, continue son mouvement sous l'action d'une force extrêmement faible. Ainsi, l'obturateur opère brusquement son mouvement de fermeture comme dans les Corliss : il appuie énergiquement contre sa glace pendant le repos, ce qui empêche toute fuite ; et enfin pendant son mouvement, il est parfaitement équilibré, ce qui diminue considérablement les frottements, les dimensions du ressort, et empêche le grippement. L'appareil fonctionne de la façon suivante : la bielle U reçoit son mouvement d'une pièce spéciale *c* en forme de came, montée sur l'arbre du régulateur ; elle est articulée à l'extrémité d'un levier coudé *a a*, dont l'autre extrémité porte un galet ovoïde *b*, lequel, par l'intermédiaire de deux roues dentées *e*, *f*, reçoit son mouvement de l'arbre *g* de la machine, de manière à faire exactement deux fois plus de tours que cette dernière. La came *c* se compose de deux portions cylindriques *h*, *i*, reliées entre elles par une surface cylindrique, destinée à produire le démasquement de l'orifice L, et séparée par un héliçoïde à plan directeur *k* dont le but est d'échapper le galet *b* tombe à cinq millimètres du noyau cylindrique *h* de la came, ce qui empêche d'abord les chocs et le bruit qui en résulteraient. (Le bruit de la retombée de l'obturateur sur son siège est détruit

par l'action d'un amortisseur à air X, dont la bielle U porte le piston). Les boules *m m* du régulateur sont placées aux extrémités de leviers coudés *n n*, articulés à une pièce en Y, fixée à l'arbre *d*. Les autres extrémités des leviers *n n*, portent des galets *o o*, s'engageant sous la tête d'un boulon *p*, qu'ils soulèvent plus ou moins. Ce boulon, qui est dans l'intérieur de l'arbre tubulaire *d*, est réuni à la came *c* au moyen d'une clavette qui se meut dans une mortaise pratiquée dans l'arbre *d* du régulateur.

Un premier avantage de cette disposition, c'est d'obtenir pour la came une très grande course au moyen d'un régulateur relativement petit. Quand les boules *m m* sont extrêmement rapprochées l'une de l'autre, la came *c*, qui suit le boulon *p*, est à sa position inférieure, et le galet *b* s'appuie sur la partie supérieure de la came, laquelle donne alors lieu à une introduction des 8/10. Au contraire, quand les boules *m m* sont extrêmement éloignées l'une de l'autre, la came *c* est à sa position supérieure, et le galet *b*, se trouvant alors en face de la partie inférieure de la came, n'oscille plus, et l'introduction se trouve réduite à zéro. Pour les positions intermédiaires on obtient toutes les introductions possibles entre 0 et 8/10. La sensibilité de cet appareil est très grande. Le régulateur agit directement sur la came, enfin celle-ci est complètement isolée de la distribution pendant la détente, puisque le galet *b* est alors à cinq millimètres du noyau de la came. Sur la tête du boulon *p* est montée une pièce Z, sorte de vase destiné à recevoir de la grenaille de plomb. Cet appendice est précieux pour obtenir la vitesse précise que l'on désire et un équilibre parfait. Le dessin (fig. 3) donne la coupe des cylindres de cette machine.

$a\ a_1\ a_2\ a_3\ a_4$ Réservoir de vapeur intermédiaire, commençant en a, se poursuivant $a_1\ a_2\ a_3$ pour se terminer en a_4.

$b\ b_1\ b_2\ b_3\ b_4$. Enveloppe de vapeur du réservoir intermédiaire, commençant en b, se poursuivant en $b_1\ b_2\ b_3$ pour se terminer en b_4.

c c c' c'. Enveloppes de vapeur des deux cylindres.

d d d' d'. Enveloppes de vapeur des fonds et couvercles des deux cylindres ; *i* arrivée de vapeur directe par les trous *e e e' e'*, évacuation de la vapeur condensée par les trous *f f f' f'*.

g Trou d'alimentation de l'enveloppe du réservoir intermédiaire.

Canal d'alimentation de l'enveloppe des deux cylindres (par les trous *i i i*),

J Petit robinet (appartenant au double robinet O) alimentant toutes les enveloppes par le trou *k k*.

l l Canaux faisant communiquer la partie inférieure de toutes les enveloppes avec la partie inférieure de l'enveloppe du réservoir intermédiaire.

m Purge unique de toutes les enveloppes.

n Purge du réservoir intermédiaire au moyen d'un seul robinet à deux orifices.

O Robinet de prise de vapeur à deux clapets, pouvant desservir l'un ou l'autre

des deux cylindres ou tous les deux simultanément (servant, par conséquent, de mise en marche).

p p p p p Canal d'arrivée de vapeur directe au petit cylindre.

q q Canal d'arrivée de vapeur directe au grand cylindre (par le réservoir intermédiaire).

R Robinet d'échappement à clapet à deux sièges, permettant d'intercepter la communication du réservoir intermédiaire avec l'échappement du petit cylindre, et de renvoyer cet échappement dans un conduit spécial.

s s s t Conduit spécial d'échappement du petit cylindre venant rejoindre l'échappement à la sortie du grand cylindre.

Le robinet double O de prise de vapeur, le robinet d'échappement et le conduit spécial d'échappement *s s s t* permettent de faire fonctionner cette machine à quatre marches distinctes.

Marche normale avec deux cylindres compounds :

Travail compound 100 chevaux indiqués.

Marche anormale : Le robinet d'échappement étant fermé sur le réservoir intermédiaire, sous une pression de vapeur directe avec le petit cylindre seul, travail maximum 65 chevaux ; avec le grand cylindre seul avec distribution Meyer au grand cylindre, de 2 à 8/10, 185 chevaux ; avec les deux cylindres, à la fois, 250 chevaux, sous une pression initiale de 6 kilogrammes et marchant à 80 tours.

Ci-contre, le diagramme relevé sur le petit cylindre à l'exposition le 21 juin 1889.

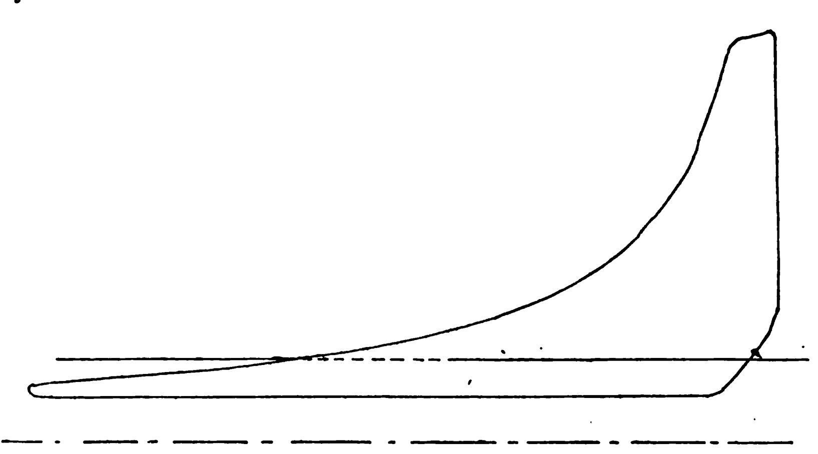


FIG. 20

Cette machine est un peu compliquée, mais elle est construite d'une façon robuste et tient peu de place.

Le condenseur en tandem est attaqué par la tige du grand cylindre. La pompe

alimentaire, accolée au condenseur, est actionnée directement par la tige du petit cylindre.

L'arbre moteur porte deux volants poulies et est maintenu par quatre paliers, dont trois à coins. Il y a là une certaine difficulté de construction.

Les cylindres sont graissés par un oléomètre Bourdon.

Machine Wheelock, construite par M. de Quillacq

(Planches 69-70)

La machine Wheelock, basée sur le principe des machines Corliss, a ses 4 distributeurs, situés à la partie inférieure du cylindre, les organes du déclic sont bien simples, très robustes et cette qualité rachète sa légère augmentation d'espace mort qu'on a dans cette machine en comparaison avec une machine Corliss ordinaire.

La machine Wheelock, exposée par la maison de Quillacq, est une machine compound à 2 cylindres de 300 chevaux, avec condenseurs conduits directement par les tiges de piston, l'un des condenseurs sert en marche normale, l'autre est destiné à la marche avec une seule machine.

Cette machine possède de nouveaux tiroirs à grille que M. Wheelock a adoptés d'abord pour les machines puissantes et qu'il applique maintenant à toutes les machines.

L'excentrique E, placé sur l'arbre du volant comme dans les machines à tiroirs ordinaires, donne un mouvement d'oscillation à la barre A, qui communique ce mouvement au levier B par une fourche C. On peut ainsi, en soulevant la barre d'excentrique par la poignée D, la déclencher, et au moyen de la poignée E et du levier B mouvoir, s'il y a lieu, les obturateurs à la main, pour faciliter la mise en marche.

En F, sur le levier B est fixé un tourillon portant le déclic G. L'embase encastrée de ce tourillon est excentrée par rapport à sa tige, ce qui permet de régler la position du déclic.

Dans la fourchette se trouve un guide cylindrique H, avec une partie plate entrant à frottement doux dans l'épaisseur du déclic, et pivotant sur le tourillon F. Sur ce guide glisse un dé ou petit cube en acier, portant un tourillon I mobile dans l'œil du levier coudé J. Le poids du déclic G fait presser sa

branche supérieure rectiligne sur le dé d'acier, ce qui en assure la direction. Sur cette branche rectiligne de la fourchette se trouve fixée en K, une touche saillante en acier, qui vient se placer devant l'arrêt du dé, et celui-ci entraîne le levier coudé J ; l'espace entre K et G étant juste suffisant pour recevoir le dé.

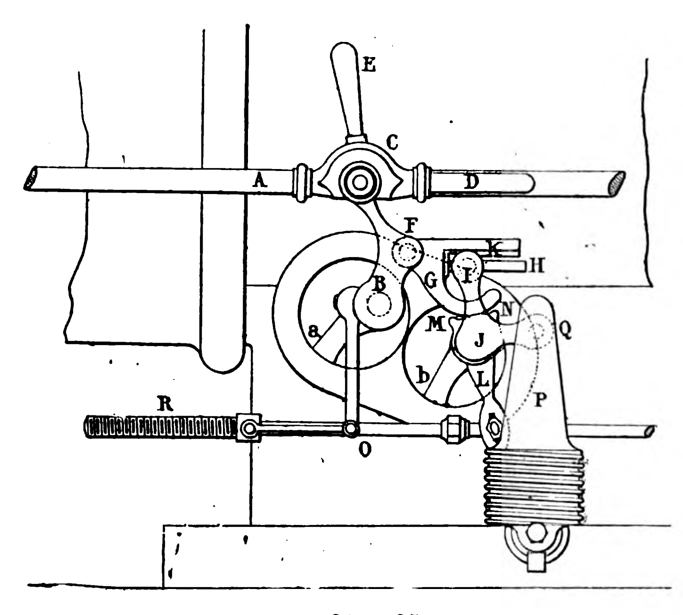


FIG. 21 A 25

Légende des figures 21, 22, 23, 24, 25.

A Cylindre.

B Tuyau d'arrivée de vapeur.

C Tuyau d'échappement conduisant la vapeur détendue au condenseur D.

E Excentrique commandant la distribution.

F Régulateur à force centrifuge dont l'action est transmise aux tiroirs par la coulisse G et la tringle H.

I, I Logements des tiroirs d'admission.

K, K Logements des tiroirs d'échappement.

La vapeur vive arrive dans l'enveloppe en *c;* en *d* est le purgeur.

e boîte à tiroir; *f* valve d'admission de vapeur affluant du générateur par B.

L Table en forme de grille taillée dans le bouchon fixé dans chacun des logements I, K.

M Tiroir à grille portant deux oreilles N sur lesquelles sont articulées des petites bielles *h*.

i Leviers à genouillère actionnant les bielles *h*

En L se trouve un levier mobile sur l'axe J, et il porte sur sa douille deux petits ergots M et N. La position de ce levier L est déterminée par le régulateur qui lui transmet ses variations par la tringle O. Ces variations ont pour effet de modifier la position de l'ergot M. (Voir fig. 21, p. 99.)

Quand la barre d'excentrique A recule et avec elle le déclic G, la partie courbe inférieure de la fourchette vient buter contre l'ergot M; le déclic se relève et le dé se désengage de la touche K; le levier coudé J devenu libre est tiré par le contre-poids à ressort P qui lui est relié par le tourillon Q, et le tiroir d'admission se ferme instantanément.

Au retour de la barre d'excentrique, la fourchette se trouve bientôt dégagée de l'ergot M ; elle retombe sur le dé d'acier que la touche K ressaisit à la fin de la course, prête à ouvrir de nouveau le tiroir. Sur la tringle O se trouve un ressort spiral dont on peut varier la tension au moyen d'une simple vis à main, ce qui permet de changer le régime de vitesse avec la plus grande facilité et pendant la marche même.

Enfin si le régulateur vient à se déranger, l'ergot N se rapproche du déclic, le soulève d'une manière permanente, sans que la touche K puisse reprendre le dé d'acier I, de sorte que l'admission restant fermée, la machine s'arrête d'elle-même, ce qui prévient tout accident.

Les leviers B et J sont tous les deux fixés à l'extrémité d'un axe en acier trempé tournant dans des douilles aussi en acier.

Ces axes ont un collet qui, pressé constamment par la vapeur contre l'extrémité intérieure de la douille, forme un joint de vapeur étanche.

Tous ces détails sont d'ailleurs semblables à ceux de l'ancienne distribution Wheelock, à obturateurs coniques; comme dans l'ancienne machine Wheelock, il se trouve à chaque extrémité inférieure du cylindre deux ouvertures légèrement coniques *a*, *b*, dont l'une *b* renferme l'obturateur d'introduction, et l'autre *a* l'obturateur d'échappement; mais au lieu de cônes mobiles distributeurs, ces ouvertures reçoivent un support ou bouchon fixe qui s'y trouve fortement coïncé, comme le serait une clavette par un simple coup sec sur sa plus large extrémité.

La partie de ce bouchon fixe, située à l'intérieur du cylindre, est découpée et forme une table ou glace percée d'ouvertures longitudinales, formant ensemble une lumière d'une grandeur exceptionnelle à travers laquelle la vapeur passe très librement.

Sur cette glace travaille la grille de distribution. Cette grille est conduite par l'axe ou arbre C et S et par l'intermédiaire des leviers articulés en genouillère *i*.

L'examen du dessin (pl. 69-70) montre que quand l'excentrique sur l'arbre du volant passe à ses points morts, le déclic et les leviers articulés s'y trouvent en même temps, de sorte que la grille devient pour ainsi dire immobile, tandis que

l'effet contraire se produit quand l'excentrique est à peu près à mi-course, c'est-à-dire au moment de l'ouverture et de la fermeture des lumières. Il résulte de cette *triple* réduction ou accélération du mouvement que la grille n'a à faire qu'un parcours égal à l'une de ses ouvertures, au plus 3 ou 4 millimètres, et que ce parcours est très rapide.

La planche 69-70 montre la forme des barrettes de la glace et de la grille mobile. Il est à remarquer que quand les ouvertures sont fermées, le contact ne s'établit que sur une bande rodée de quelques millimètres de large, de sorte, qu'aussitôt que la grille avance, tout contact cesse, aussitôt la vapeur passe au-dessous des barrettes de la grille mobile, qui se trouve ainsi dégagée de toute pression, ainsi que toutes les articulations.

Il résulte de ce qui précède que le premier déplacement (c'est-à-dire alors que les barrettes sont en contact) se produit pendant que le triple système de leviers est vers son point mort, dans toute sa puissance presque illimitée, mais qu'au moment où l'ouverture doit être activée, toute pression a cessé et que cette ouverture s'opère presque instantanément avec un effort à peine sensible : il ne reste plus en effet que les points de contact laissés pour assurer la stabilité du tiroir.

Par suite aussi, au moment où le contre-poids doit suspendre l'introduction, le tiroir n'oppose pour ainsi dire aucune résistance et son action est assurée, bien que contre-poids et ressort n'aient qu'une force de quelques kilogrammes.

En fait, tous ces mouvements peuvent être mûs à la main très facilement comme il est dit plus haut, même dans les machines les plus puissantes et sous les plus hautes pressions ; aussi le même régulateur peut-il être employé pour des machines de forces différentes, bien qu'il ne soit pas plus puissant que le régulateur d'une machine à tiroirs ordinaires de quelques chevaux.

Un des avantages les plus remarquables de la disposition décrite ci-dessus, consiste en ce que chaque tiroir et son mouvement sont portés sur une pièce indépendante, simplement placée dans le cylindre, sans l'emploi d'aucun boulon, sans chapeau et sans aucune sorte de calfat, de sorte qu'un simple coup sec d'une masse en bois, à la petite extrémité de cette pièce ou support conique, permet de retirer tout le système qui peut être visité, réglé ou réparé s'il y a lieu, sur l'établi même et remis en place dans quelques minutes, ou même remplacé par un système de rechange pour éviter tout arrêt.

Enfin, comme dans l'ancienne machine Wheelock, on peut, en cas de besoin, marcher à simple effet avec les seuls distributeurs soit d'avant, soit d'arrière.

Les grilles paraîtraient devoir s'user rapidement, cependant les constructeurs affirment en avoir en service depuis quatre ans, sans qu'il y ait eu de remplacement.

Cet inconvénient, au surplus, ne serait pas très grave étant donnée la facilité de remplacement des distributeurs.

Cette machine, fort bien étudiée, est d'une construction très soignée.

La machine est munie de graisseurs Stopfer. Pour les cylindres il y a un graisseur à pression Mollerupt.

Le volant, en deux morceaux, est à courroie.

Les glissières sont cylindriques et on doit signaler un intéressant détail de construction : la crosse et le boulon de crosse sont en fonte, d'une seule pièce. Cette disposition est due à M. Wheelock.

Machine à détente asservie Pilon compound, type Farcot

(Planches 71-72)

Les nouvelles machines Pilon, type Farcot, sont caractérisées par l'emploi de la distribution Solms, gouvernée par un régulateur ordinaire dont la puissance est amplifiée par un servo-moteur.

La distribution Solms, telle qu'elle est réalisée dans ces moteurs, contient le minimum d'organes possible pour la commande du tiroir, à savoir :

1° La barre d'excentrique, dont l'extrémité est guidée par une coulisse régulatrice qui est ici une véritable coulisse et non pas la bielle oscillante plus compliquée adoptée dans certaines variantes, et 2° la bielle du tiroir qui reçoit son mouvement de cette barre.

Les tiroirs sont, par un nouveau mode d'équilibrage, à l'abri tant des pressions de la vapeur que des efforts d'inertie.

L'équilibrage contre les pressions de vapeur est obtenu par l'établissement en face de la glace du cylindre, d'une contre-glace réglable munie de contre lumières identiques rigoureusement en regard des lumières de la glace, et dans lesquelles on a eu le soin de faire régner constamment la même pression que dans les lumières des glaces principales.

Pour diminuer les effets de l'inertie, on a disposé aux extrémités supérieures des tiges des tiroirs, des couples de ressorts agissant alternativement et contrairement à ces efforts. Les efforts d'inertie sont ainsi compensés entièrement pendant toute la durée du mouvement oscillatoire.

Grâce à ces dispositions, on n'impose aux organes de commande qu'un minimum de fatigue, et le rendement de l'appareil sur l'arbre moteur ne peut être influencé que favorablement par ces dispositifs.

L'admission de la vapeur se fait par les arêtes intérieures des tiroirs, ce qui a l'avantage de faire supporter aux couvercles des boîtes à vapeur les pressions d'échappement seulement.

De plus la vapeur d'échappement trouve à la sortie des lumières, des voies plus larges que dans le cas de l'échappement par le creux de la coquille.

Chaque cylindre est garanti contre les coups d'eau par deux soupapes de sûreté.

Un système de robinets purgeurs assure de plus l'évacuation des eaux de purge de tous les cylindres et de tous les réservoirs intermédiaires.

Le régulateur isochrone Farcot, à bielles et bras croisés a une nouvelle forme simplifiée en ce sens que les bielles croisées sont remplacées par un simple mouvement de roulement des pièces centrifuges sous le contre-poids, lequel vient reposer sur elles sans interposition d'aucun autre organe. Ce régulateur, très sensible et très isochrone, communique son mouvement aux rênes d'un servo-moteur hydraulique, lequel attaque directement la coulisse.

L'appareil servo-moteur, d'une constitution simple et robuste, fonctionne ici dans des conditions nouvelles puisque, au lieu d'être actionné par la vapeur même, au lieu de comporter par conséquent les variations inévitables d'un fluide élastique et d'exiger l'adjonction d'un cylindre à huile pour les amortir, il réunit en un seul cylindre les avantages de la vapeur et ceux du liquide incompressible. Il réalise ce résultat en demandant sa force motrice non pas à la vapeur même, mais à une eau mise par elle en pression, comme par exemple l'eau de la chaudière ou l'eau des purges de la conduite ou de la boîte de tiroir.

La mise en marche de ces machines et leur arrêt peuvent être effectués au gré de l'opérateur aussi rapidement et aussi progressivement qu'on le désire au moyen d'un petit volant à main qui permet, par l'intermédiaire d'une vis, de dominer à cet instant le régulateur en réglant la vitesse de son mouvement de chute ou de montée. Une fois en marche, on laisse au contraire le régulateur entièrement libre dans son action.

Pour faciliter au personnel la conduite de ces appareils extrêmement simples par eux-mêmes, on a pourvu de plaques indicatrices tous les robinets et leviers et tous les organes à manœuvrer, ce qui rend impossible toutes fausses manœuvres.

Tous les graissages sont automatiques par des graisseurs à écoulement continu.

La pompe du condenseur est mue par une manivelle calée sur l'arbre moteur. Le bâti creux forme chambre de condensation.

La maison Farcot expose une machine pilon à triple expansion munie de la même distribution.

Les pompes de condensation sont mues par des excentriques placés sur l'arbre moteur.

Les graisseurs des tourillons moteurs sont placés sur le corps des bielles.

Machines compound, système Sautter et Lemonnier

(Planches 73-74)

Ces machines spéciales pour actionner des dynamos sont très répandues dans la marine. C'est une de ces machines qui sert à l'éclairage du phare de la tour Eiffel, et bien que ce moteur développe 70 chevaux alors qu'il est du type de 45 chevaux, il donne complète satisfaction depuis sa mise en route.

Les machines compound Sautter et Lemonnier peuvent se ramener à trois types.

I. *Moteur pilon à deux cylindres compound.* — Les cylindres situés à la partie supérieure, une seule glissière. L'ensemble facilement visitable. Tous les coussinets sont à rattrapage de jeu et le graissage se fait à l'aide de la graisse Dégremont.

Le moteur type « Indomptable » a des cylindres de 310 et 206 millimètres, et une course de 170 millimètres. Ce qui donne un rapport de 2,26 entre les volumes.

Cette machine en marche normale, à 350 tours et 5 kilogrammes à l'admission, développe 30 chevaux. La consommation n'atteint pas, dans ces conditions, d'après les constructeurs, 10 kilogrammesp ar cheval effectif au frein.

Cette machine peut donner 45 chevaux.

Le cylindre à haute pression a un tiroir double à détente variable, le cylindre à basse pression a un tiroir simple.

La maison Sautter et Lemonnier expose un moteur du même type d'une puissance de 120 chevaux, dont la consommation, avec 6 kilogrammes à l'admission, n'atteint pas 9 kilogrammes par cheval effectif.

C'est aussi à ce type qu'appartient la machine du phare de la tour Eiffel.

Les cylindres ont des diamètres de 260 et 380 millimètres et une course de 200. Soit un rapport de 2.13.

2° *Moteur compound à axe central, type « Troude ».* — Les cylindres sont placés à la partie inférieure et servent de bâti. L'arbre de couche forme l'axe de l'ensemble et porte la dynamo.

Cette machine développe 30 chevaux à 350 tours, et l'ensemble n'occupe que $1^m,40 \times 2.00 \times 1.05$.

Ces machines sont bien étudiées et bien appropriées à leurs grandes vitesses de régime.

Machine à vapeur horizontale, à triple détente, force normale 100 chevaux effectifs, de la Maison Sulzer

(Planches 75-76)

L'idée fondamentale, qui a guidé dans la construction de cette machine, c'est de pouvoir adapter à des moteurs de faible puissance le système à triple détente. Pour ce but, MM. Sulzer ont supposé que la disposition normale, pour des machines horizontales à trois cylindres, avec le premier et le second l'un derrière l'autre, et le troisième accouplé sous 90°, ne pourrait pas être applicable à de petites machines, celles-ci devenant trop compliquées sous le rapport d'avoir trop de détails pour la distribution, trop de presse-étoupes, etc.

La machine exposée se compose :

1° D'un cylindre à haute pression, à simple effet, de 350 millimètres de diamètre; 2° d'un cylindre à moyenne pression, aussi à simple effet, de 525 millimètres de diamètre; et 3° d'un cylindre à basse pression, à double effet, de 700 millimètres de diamètre; course des pistons 750 millimètres, faisant 85 à 100 tours par minute.

En travaillant avec une pression de 10 atmosphères au petit cylindre, avec condensation et à 85 tours, la machine développera, avec une admission de 10, 20, 30, 50 %, un travail de 62, 78, 100, 120 chevaux effectifs.

Le premier cylindre est amovible, et, pour pouvoir le démonter facilement, il peut être posé sur des galets, de manière à pouvoir le retirer aisément sur des rails. C'est un travail facile, semblable à celui des foyers amovibles des chaudières tubulaires. Pour ce but, on n'à qu'à interrompre la communication aux conduites de vapeur pendant que toute la distribution du cylindre reste intacte, grâce au manchon d'accouplement sur l'arbre de distribution.

Les trois pistons ne forment qu'une seule pièce, et, pour éviter les pertes de vapeur du cylindre à haute pression à celui à basse pression, on a admis dans cet endroit une double garniture d'anneaux. L'effort sur le piston dans ces machines n'est pas aussi régulier qu'aux machines de construction normale, où les forces sont les mêmes en avant et en arrière; mais, en augmentant le poids du volant, on obtient une marche satisfaisante, surtout en portant encore au maximum le nombre de tours que la distribution à soupapes permet.

Le volant, très lourd, porte cinq gorges pour courroies.

La machine, construite d'après ce principe, n'est munie que d'une manivelle, d'une bielle, d'une crossette, d'une tige de pistons, d'un seul corps de pistons avec trois pistons et un seul presse-étoupe pour la tige des pistons, et, au lieu de douze soupapes pour les trois cylindres, on n'en a que huit, dont une seule reçoit

le mouvement variable par le régulateur, tandis que les sept autres sont actionnées par des cames.

Les trois cylindres sont munis d'enveloppe; le passage du premier au second se fait par un tuyau, tandis que celui du second au troisième se fait directement, le second et le troisième cylindre étant coulés d'une seule pièce.

Cette machine est certainement une des plus originales de l'Exposition, par sa conception ingénieuse et son mode de construction; mais, avant de nous prononcer sur sa valeur économique, nous attendrons les résultats de la pratique, étant donné que les fuites des segments des pistons dans une telle machine arrivent à troubler considérablement sa marche et à occasionner des dépenses élevées de vapeur; enfin, que les difficultés de montage et de démontage puissent se montrer dans la pratique et venir balancer les avantages incontestables d'avoir une seule tige, un seul presse-étoupes, etc.

Machine verticale à triple expansion

La maison Sulzer expose en outre une autre machine à triple expansion.

Cette machine, du type extérieur de machine-pilon de bateau, a pour dimensions principales :

Diamètre du cylindre à haute pression	400 m/m
» » moyenne pression . . .	600 m/m
» » basse » . . .	900 m/m
Course des pistons	600 m/m
Nombre de tours par minute.	100 à 125

En travaillant avec une pression de 10 atmosphères, au petit cylindre, avec condensation et à 125 tours par minute, la machine développera, avec une admission de 20, 30, 40 %, un travail de 240, 300, 370 chevaux *effectifs*.

Contrairement à ce qui a été dit pour les machines horizontales à triple détente, cette machine représente le type d'un moteur de grande puissance, et, d'après MM. Sulzer, celle exposée représente le modèle le plus petit de ce type; aussi la machine est munie de tout ce qui est nécessaire pour un grand moteur, comme : système très complet de graissage automatique, appareil vireur à vapeur, etc.

Le type vertical puissant a sans doute l'avantage de supprimer l'influence des poids des pistons; mais, quant à la stabilité et à l'accessibilité de tous ses organes, il est certain qu'il n'est pas aussi pratique que celui des machines hori-

zontales, quoique l'on soit arrivé dans le cas présent, à avoir les meilleurs résultats possibles.

L'inclinaison des colonnes d'avant, par exemple, augmente beaucoup la solidité.

La construction de la machine exposée permet au mécanicien de surveiller toutes les pièces, sans être obligé de monter des escaliers, plates-formes, etc., pour le service normal.

Pour arriver à ce but, tous les mouvements de la distribution, par exemple, se font du côté inférieur des cylindres ; il n'y a rien à surveiller au-dessus de ces derniers, si toutefois il ne s'agit que d'une réparation, comme, par exemple, de sortir un piston, une soupape, etc.

Cette machine a cela de particulier, qu'elle a la soupape comme moyen exclusif de distribution, c'est-à-dire que toutes les soupapes ferment vers le bas,et que leur propre poids, joint à une légère pression de la vapeur, garantissent la fermeture étanche. Il est vrai que, par cet arrangement, il résulte une augmentation de l'espace nuisible, pour certaines soupapes, mais principalement pour les machines à triple détente, où la compression atteint facilement la pression initiale ; cette question de l'espace nuisible ne joue pas un rôle dominant.

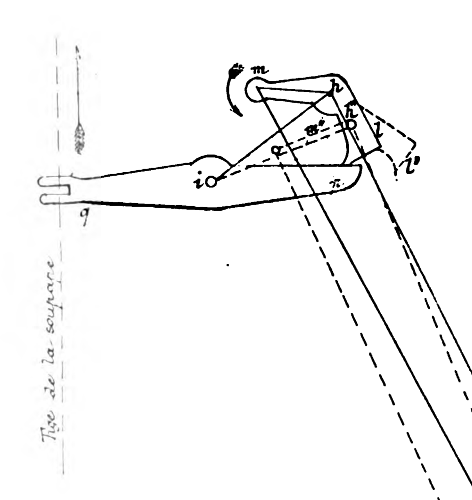
Les trois cylindres sont disposés de façon à avoir celui à basse pression au milieu, et cela pour obtenir une disposition symétrique et pour mieux pouvoir y placer la pompe à air et celle d'alimentation actionnées à l'aide d'un balancier, etc. Par cet arrangement, les poids des trois pistons s'équilibrent exactement en agissant sur les trois manivelles disposées à 120°.

Cette disposition des cylindres est d'autant plus adoptable que MM. Sulzer ont renoncé tout d'abord à l'application des passages directs d'un cylindre à l'autre, sans tuyautage intermédiaire, ayant trouvé que de tels joints auraient couru trop de risques. Ils ont donc préféré appliquer deux tuyaux dont les joints peuvent être facilement accessibles en cas de besoin, et par conséquent, une fois les tuyaux appliqués, il n'y avait pas de raison de disposer les cylindres suivant l'ordre de détente, disposition qui n'aurait pas été favorable, surtout en vue de l'aspect extérieur.

Les trois cylindres sont supportés d'un côté par des bâtis soutenant les glissières, et de l'autre par de puissantes colonnes fixées d'une manière très solide à la plaque de fondation. Cette dernière, coulée d'une seule pièce, renferme les quatre coussinets principaux pour l'arbre de couche à trois coudes, lequel, comme d'habitude pour les machines marines, est du type composé ; les deux parties extérieures reposent chacune sur deux coussinets, pendant que le coude du milieu est boulonné aux deux autres par de fortes brides.

Les axes de toutes les soupapes (à l'exception de celles supérieures au grand cylindre) sont disposés dans un seul plan vertical qui est parallèle aux axes des cylindres, et aussi près que possible de ceux-ci. L'arbre de distribution étant

placé dans le même plan, actionne directement toutes les soupapes par des cames, à l'exception des deux soupapes d'admission du cylindre à haute pression, lesquelles sont mises en mouvement par un mécanisme à déclic très simple, mais spécialement adapté à un grand nombre de tours. Dans cette intention, on a suivi la disposition dont nous joignons le schéma du mouvement de distribution adopté pour la machine exposée en 1878, l'ouverture des soupapes d'entrée se faisant presque sans choc, pas trop vite, et réduisant le plus possible l'influence des masses en mouvement.



Avec un coussinet d'air, lequel, comme auprès de toutes les soupapes d'admission Sulzer, adoucit la fermeture, et, grâce à toute la disposition et les dimensions de ce mouvement, cette machine peut donner jusqu'à 125 et 140 tours par minute.

L'arbre de la distribution est logé dans une espèce de tuyau, qui est rempli d'huile jusqu'à une certaine hauteur, de manière que toutes les cames y plongent. Le renouvellement de cette huile fait partie du système central de graissage.

Le régulateur construit pour grande vitesse sert en même temps pour transmettre le mouvement de l'arbre de couche à celui de distribution.

Le graissage central est desservi par une petite pompe rotative qui est placée à l'intérieur de la plaque de la fondation, assez bas pour que toutes les huiles des paliers, etc., etc., y retournent d'elles-mêmes, de façon à pouvoir être refoulées en haut sans que la pompe doive vaincre une hauteur d'aspiration.

Le vireur à vapeur est disposé symétriquement au régulateur, et transmet le mouvement directement à arbre de couche par des engrenages mobiles.

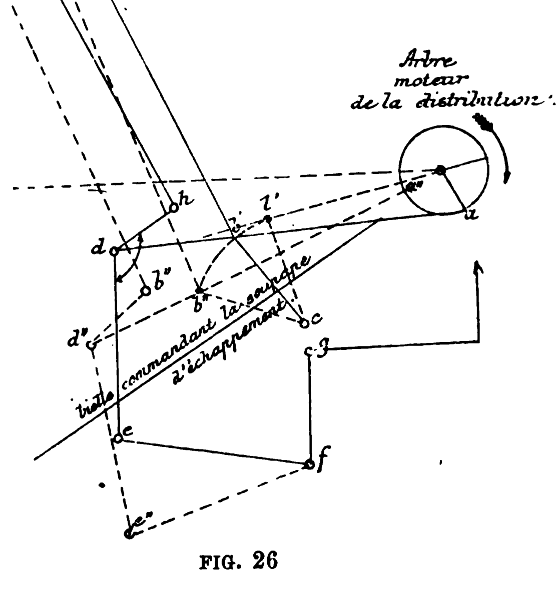


FIG. 26

Tous les organes de la machine sont disposés de façon à permettre de pro-

longer l'arbre de couche d'un côté ou de l'autre, ou des deux, ainsi que de placer des volants ou des poulies tout près des paliers extérieurs de la machine même.

Le volant en fonte, très puissant, est en deux pièces, et porte dix gorges pour les câbles.

Le condenseur a sa pompe actionnée par un balancier prenant son mouvement sur la crosse du piston du milieu.

Dans ces deux machines nouvelles, la maison Sulzer soutient sa haute réputation, et, à part les réserves faites au début sur la soupape employée comme distributeur, on ne peut qu'approuver les recherches de l'ingénieur mécanicien, qui tendent à la production du cheval vapeur, avec la plus faible quantité de vapeur possible. Quant à l'exécution matérielle des diverses machines exposées par la maison Sulzer, elle est parfaite.

Machine Willans à triple expansion

(Planches 75-76).

Cette machine, dont nous ne connaissons pas de spécimen en France, a plusieurs applications en Angleterre, soit dans des mines, soit dans des usines élévatoires.

Elle se compose de trois cylindres superposés, le plus petit, à haute pression, étant à la partie supérieure. La pression initiale de la vapeur est de 10 kilogrammes.

La tige commune des pistons est un fourreau percé d'orifices ; ces orifices constituent les lumières d'admission et d'échappement, qui sont alternativement ouvertes et fermées par un distributeur central.

Ce distributeur central se compose d'une tige portant une série de pistons obturateurs, *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, dont le mouvement de va-et-vient est donné par un excentrique.

Cette machine est à simple effet, de haut en bas. Le relèvement des pistons a lieu sous l'action du volant V, et, sous l'action de l'air comprimé dans un cylindre spécial C, par les têtes de bielles qui forment piston, de sorte qu'on a une pression constante sur les bielles.

La machine fonctionne de la manière suivante : au commencement de la course descendante, le piston *f* se présente au-dessous des orifices *g*, et permet l'admission de vapeur dans le cylindre à haute pression ; en raison des mouvements relatifs, *f* ferme ces orifices quand le piston a effectué les 3/4 de sa course,

mais la suppression d'introduction de vapeur est effectuée plus tôt, parce que les orifices 10 quittent la chambre de vapeur en passant à travers le collet permettant à la tige du piston d'aller d'un cylindre à l'autre. On peut d'ailleurs obtenir la détente au point voulu de la course en changeant la position des orifices 10 ou en modifiant la hauteur du collet.

La vapeur agit ensuite en se détendant dans le cylindre à haute pression; le piston arrive alors à l'extrémité de sa course, et l'obturateur *f*, passant au-dessus des orifices 9, alors que *e* ferme d'une façon permanente la communication entre les orifices 8 et 7, la vapeur peut pénétrer au-dessous du piston, dans ce qu'on appelle le premier récepteur R^1; pendant la course ascendante, obtenue par le mouvement du volant, la vapeur ne change ainsi ni de volume, ni de pression; elle pourrait être mise en communication avec l'atmosphère pour permettre l'échappement, ce qui donnerait un cycle complet de machine à simple effet.

Mais, comme il s'agit d'un fonctionnement à triple expansion, au commencement de la course suivante, la vapeur passe du récepteur par les orifices 7 dans la tige creuse, et de là par ceux marqués 6 dans le cylindre intermédiaire, jusqu'à la suppression d'admission produite par le passage des orifices 7 à travers le collet du cylindre.

Dans la course ascendante qui suit, la vapeur passe par les orifices 6 et 5 dans le second récepteur R^2; dans la course descendante, elle pénètre dans le cylindre à basse pression par les orifices 4 et 3; enfin, lorsque le piston remonte, elle va par 3 et 2 dans la chambre d'échappement E communiquant avec l'atmosphère. Il faut donc trois révolutions complètes entre l'admission et l'échappement. La pression de la chaudière agit constamment sur l'obturateur marqué *g*; la bielle d'excentrique est ainsi maintenue aussi bien dans la course ascendante que dans la course descendante.

Pour les pistons, c'est un cas différent; ils sont beaucoup plus lourds, et, pendant la course ascendante, il y a équilibre entre les pressions qui s'exercent en dessus et en dessous, puisqu'à ce moment la communication est établie.

On pourrait faire figurer dans ce chapitre plusieurs des machines à grande vitesse que nous décrirons plus loin, soit comme compound ordinaires, soit comme compound à triple expansion, par exemple, pour la machine Weyher et Richemond.

Nous devons aussi mentionner la machine construite par M. Powell de Rouen, qui est à quatre cylindres et peut marcher à triple et quadruple détente.

Nous décrivons plus loin, dans les machines horizontales à grande vitesse, une machine compound Armington et Sims.

MACHINES HORIZONTALES A GRANDE VITESSE

Machines Armington et Sims exposées par la Société Alsacienne de constructions mécaniques

(Planches 77-78)

Les trois machines à grande vitesse exposées par la Société alsacienne sont toutes construites d'après le type Armington et Sims de Providence (Etats-Unis), dont elles représentent trois variantes.

L'une est la machine normale pour éclairage électrique.

C'est une machine de la force effective de 100 chevaux ayant les dimensions principales suivantes :

Diamètre du cylindre à vapeur	370 m/m
Course du piston	380 m/m
Vitesse par minute	250 tours

Ce type convient de préférence pour la commande directe, par courroies, de dynamos marchant à grande vitesse. Il est beaucoup employé dans les installations particulières d'éclairage électrique et a été adopté dans plusieurs stations centrales. Cette machine est autrement robuste : le bâti, de formes compactes, est posé sur un châssis en fonte, remplaçant la partie de la fondation qui d'ordinaire dépasse le sol, et porte, venus de fonte, deux paliers de fortes dimensions pour l'arbre coudé. Les glissières sont planes. Une poulie-volant est montée sur chaque extrémité de ce dernier. Cet arbre coudé a une disposition particulière. Les deux bras de l'essieu sont circulaires et portent deux plateaux en fonte, excentrés par rapport aux bras de l'essieu, mais concentriques à l'arbre, portant les masses équilibrant les pièces en mouvement. Ces deux plateaux sont posés à chaud sur l'essieu.

A l'une des extrémités de l'arbre se trouve l'excentrique de distribution sur lequel nous reviendrons plus loin.

Le régulateur Armington est placé dans l'une des poulies-volants.

La seconde machine de la force de 75 chevaux a les dimensions principales suivantes :

Diamètre du cylindre	360 $^m/_m$
Course du piston	610 $^m/_m$
Vitesse par minute	150 tours

C'est le type qui convient pour les installations industrielles. La machine a plus de course et fait moins de tours.

Le bâti, en forme de baïonnette, n'est plus double comme le précédent : il a un seul palier moteur; l'arbre n'est plus coudé; son extrémité est portée par un palier spécial.

Le bâti est toujours très rigide, mais se rapproche des formes des machines ordinaires.

La troisième machine est une compound de la force de 150 chevaux effectifs.

Les dimensions principales sont les suivantes :

Diamètre de cylindres	480,330
Course des pistons	300 $^m/_m$
Rapport des volumes	2,11
Vitesse par minute	255 tours

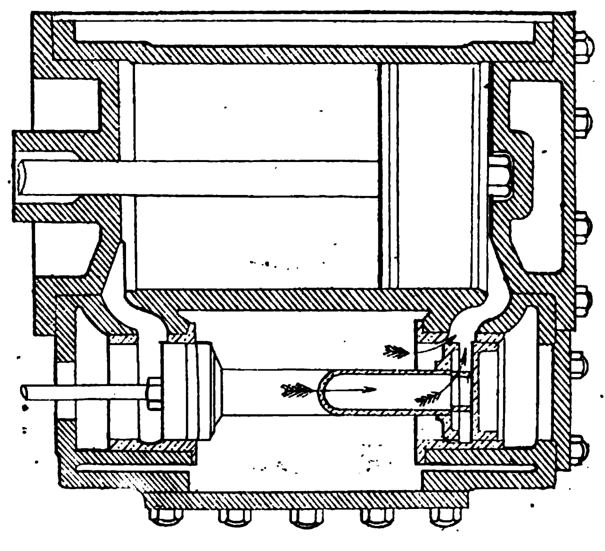


FIG. 27

C'est le type qui convient pour les installations d'éclairage électrique d'une certaine importance. Sa disposition générale rappelle celle de la première machine. Celle exposée est disposée pour conduire une forte dynamo, placée directement sur l'arbre moteur.

La partie la plus intéressante de ces trois machines c'est leur distribution et leur régulateur.

La boîte à vapeur est venue de fonte au cylindre. Elle renferme un tiroir piston dont la disposition est indiquée par la figure 22. La vapeur arrive au centre de la boîte par un tuyau à large section, l'échappement se fait par les extrémités. Lorsque l'une des arêtes intérieures du tiroir ouvre à l'admission l'orifice d'entrée, l'autre bout du tiroir entre dans la boîte, de sorte que la vapeur trouve deux passages d'entrée au cylindre. Les ouvertures sont, de la sorte, doublées; aussi malgré la grande vitesse du piston, les diagrammes n'indiquent aucun laminage de vapeur à l'admission. En outre, cette disposition réduit la course du tiroir et, par conséquent, les dimensions de tous les organes de distribution.

Le tiroir est commandé par un excentrique placé sur l'arbre moteur et muni du régulateur Armington que nous avons décrit.

Machine Lecouteux et Garnier horizontale à grande vitesse

(Planches 79-80)

La machine Corliss ordinaire a été modifiée de façon à permettre les grandes vitesses avec quatre distributeurs, et dans ce but, MM. Lecouteux et Garnier ont supprimé le déclenchement, disposition que nous trouverons également appliquée à la machine Frikart compound tandem que nous décrirons plus loin.

Ces machines employées à la station municipale d'électricité installée sous les Halles centrales développent chacune 170 chevaux à 180 tours par minute et avec 7 kilogrammes de pression.

Ces machines ont des glissières à section triangulaire et les patins des crosses sont garnis en métal antifriction.

Le graissage employé pour ces machines est le graissage Stopfer.

Le régulateur à force centrifuge agit par l'intermédiaire de la barre d'excentrique sur les deux tiroirs d'admission de vapeur. Les deux tiroirs d'échappement sont commandés par un second excentrique indépendant du premier.

La course des tiroirs d'admission est réglée par la course variable de l'excentrique du régulateur.

En outre de ce régulateur, pour les stations d'électricité, cette machine possède un régulateur détendeur qui agit sur la pression dans la conduite d'amenée de vapeur et dont le but est le suivant :

Le travail d'une station centrale d'électricité étant essentiellement variable fallait prévoir que les moteurs travaillant normalement et même chargés au maximum pouvaient être instantanément déchargés de tout ou de la plus grande partie de leur travail ; ou réciproquement que les moteurs marchant à vide pouvaient être brusquement chargés.

Ces acoups si rapides, surtout quand il s'agit d'électricité, devaient avoir pour conséquence de provoquer un ralentissement ou un accroissement de vitesse sensible, désagréable, et par dessus tout nuisible à la conservation du matériel électrique, des lampes à incandescence en particulier. Il fallait donc rendre aussi insensibles que possible les variations de vitesse des moteurs tout en permettant l'action du régulateur basée sur ces variations mêmes. Or cette action est retardée par le frein modérateur et c'est pour annuler ce retard qu'on a placé un régulateur n'agissant alors que sur la pression du régulateur centrifuge.

Le second régulateur, appelé régulateur-détendeur, ressemble aux régulateurs ordinaires à boules et remplit deux fonctions particulières et indépendantes de celle du régulateur principal de détente : 1° il doit créer une différence de pression constante entre la boîte à vapeur et la conduite d'amenée ; 2° il doit empêcher toute variation brusque de vitesse du moteur en donnant le temps au régulateur principal de prendre la position d'équilibre correspondant à la nouvelle charge. La vitesse de rotation de ce régulateur du type Porter est très grande et sa course est très petite.

Pour une variation d'un seul tour à la machine il peut passer d'un point extrême à l'autre de sa course en occupant successivement toutes les positions intermédiaires.

L'obturateur est installé sur le robinet de prise de vapeur même et se compose d'un anneau monté sur un axe et pouvant tourner sans frottement dans un autre anneau fixe. Des orifices sont percés au travers de chacun de ces anneaux pour le passage de la vapeur, et leur section est calculée de telle sorte qu'à la position de régime du régulateur il y ait une différence de pression réglable à volonté, et que, pour les positions extrêmes les orifices soient ou complètement fermés ou complètement ouverts.

L'axe sur lequel est monté l'anneau n'a pas de garniture pour diminuer le frottement ; la longueur de la petite bielle de commande est variable à volonté pour régler la position de régime de l'obturateur, et un petit contre-poids auxiliaire glissant le long du levier sert à régler la marche normale de l'appareil.

Toutes les précautions étant prises pour que les frottements soient réduits au minimum et que le régulateur fonctionne avec une certitude absolue, on peut dire qu'il est possible d'arriver à maintenir constant le régime de la vitesse du moteur, quelles que soient les variations qu'on lui fera subir, puisque tous les écarts peuvent être annulés en un tour, ce qui représente 1/3 de seconde pour ces machines marchant à 180 tours par minute.

Malgré l'ingéniosité de cet appareil, nous préférons les autres types à grande vitesse créés par la maison Lecouteux et Garnier où la régularité ne dépend que d'un seul appareil.

Moteur américain « Straight-Line » construit par Steinlen et Cie, de Mulhouse

(Planches 81-82)

Ce moteur à grande vitesse et à cylindre unique présente des particularités de construction fort intéressantes.

Le cylindre monté sur socle a 325 millimètres de diamètre et 450 de course.

La glissière très robuste est supportée par un bâti d'une grande rigidité qui va en s'élargissant jusqu'au support des paliers de l'arbre moteur.

La bielle attaque un maneton placé entre les moyeux de deux volants formant plateaux manivelles.

Le tiroir est équilibré et actionné par un excentrique soumis à l'action d'un régulateur à force centrifuge dont nous donnons le dessin et analogue à ceux que nous avons déjà décrits.

La tête de bielle est du type de celles employées dans la marine. Le graissage des collets du maneton peut se faire de la jante du volant à l'aide d'un canal dirigé selon un rayon du volant C C'.

Le volant à jante creuse est trop faible, mais c'est là un défaut facile à corriger et cette machine donne jusqu'à présent de bons résultats et nécessite peu d'entretien.

MACHINES VERTICALES A GRANDE VITESSE

Machine Pilon, construite par MM. Lecouteux et Garnier

(Planches 83-84)

Ces machines sont construites depuis 600 tours par minute pour des machines de 10 chevaux ayant 120 millimètres de course, jusqu'à 300 tours pour des machines de 150 chevaux ayant 330 millimètres de course ; elles sont spécialement destinées à la lumière électrique.

La planche 83-84 montre leur mode de construction.

Le condenseur est sur le côté et mis en mouvement par une bielle actionnée par l'arbre moteur.

Les glissières sont à section circulaire.

Il y a trois particularités à signaler dans ces machines :

1° Le régulateur à force centrifuge que nous avons déjà décrit au commencement de ce travail, et sur lequel nous ne reviendrons pas ;

2° Le tiroir ;

3° L'arbre-manivelle, qui est en cinq parties.

Le tiroir est composé de deux parties cylindriques distinctes, réunies par une tige en acier, et enveloppées par un segment en fonte élastique garantissant l'étanchéité. La boîte du tiroir, alésée d'abord, est rodée ensuite, de manière à assurer un contact parfait entre la surface et les segments qui, eux-mêmes, sont ajustés à la façon ordinaire. Comme ce tiroir travaille verticalement à très grande vitesse, il a besoin d'être parfaitement équilibré pour que le travail de l'excentrique moteur soit faible. Pour y arriver, le piston supérieur est légèrement plus grand que le piston inférieur, de façon à faire équilibre au poids total des pièces du tiroir.

Le joint de chaque segment est gardé par une barrette en fonte qui relie l'orifice.

L'arbre-manivelle est fait en cinq parties ; c'est avec le régulateur et le tiroir une des particularités de la machine : les deux coudes sont formés de deux plateaux à contrepoids en acier coulé, rapportés à chaud ou à la presse à l'extrémité des deux portions de l'arbre travaillant dans les paliers, et le tourillon qui sert de trait d'union est lui-même rapporté à chaud dans les deux plateaux, après avoir été rodé. Le travail d'assemblage de toutes ces parties doit être fait avec le plus grand soin et au moyen de montages spéciaux qui en assurent la précision. Les avantages de ce mode de construction sont assez grands pour qu'on l'ait adopté, en prenant toutes les précautions nécessaires. Il permet, en effet, de tremper et rectifier sans danger les fusées de l'arbre et le manneton, c'est-à-dire les parties soumises aux plus grands efforts, et susceptibles d'usure, et aussi d'équilibrer rigoureusement le poids des pièces au moyen des évidements réservés dans les plateaux-manivelles dans lesquels on coule du plomb. L'une des conditions les plus importantes à réaliser dans les machines à grande vitesse, c'est l'équilibre aussi parfait que possible des pièces en mouvement. Il n'y a pas d'autre cause, quelquefois, aux défauts de fixité et de régularité que les lampes à incandescence accusent avec certaines machines, et aux usures rapides des surfaces frottantes.

L'arbre moteur une fois assemblé est reporté sur la machine à rectifier, qui finit les fusées comme s'il était d'une seule pièce. Ces fusées reposent sur des coussinets garnis de métal blanc, comme le maneton dans le coussinet de la

bielle, de sorte que toutes les surfaces en contact qui travaillent et fatiguent le plus, étant convenablement lubrifiées, composées d'une part d'acier trempé et rectifié, et d'autre part, de métal blanc, n'offrent que peu de résistance au frottement. Par suite, les craintes d'échauffement sont diminuées et l'usure est réduite au minimum.

La Maison Lecouteux et Garnier construit également des machines horizontales semblables dans tous leurs détails à celle que nous venons de décrire.

Ces machines sont adoptées quand la disposition des locaux l'exige. Deux de ces machines sont employées à l'une des stations d'électricité situées sur la berge de la Seine, à l'Exposition ; elles sont de 150 chevaux chacune.

Ateliers de construction d'Oerlikon (près Zurich)

(Planches 85 à 88)

Les machines exposées par les ateliers d'Oerlikon sont fort remarquables au point de vue de leur construction toute spéciale, à cause de leur grande vitesse.

Ces machines, du système Hoffmann, sont verticales, ce qui permet d'avoir un faible emplacement, un piston avec une seule tige, etc. L'arbre, horizontal à manivelles, est soutenu par une série de paliers ; il est en deux parties, reliées par des plateaux boulonnés.

L'inconvénient d'avoir plusieurs paliers en ligne est diminué par ce fait qu'ils font partie d'une seule plaque de fondation très rigide, car ils ne sont pas séparés par des solutions de continuité profondes. De cette facon, l'arbre, très soutenu, ne travaille pas à la flexion.

Le condenseur, sur le côté, est actionné par un excentrique calé sur l'arbre moteur.

La section des glissières est circulaire.

Les pièces en mouvement de la machine ont été allégées le plus possible. Les corps des boutons et les tiges de piston sont percés dans leur axe, afin d'avoir une section minimum égale sur une grande longueur de ces pièces, et d'éviter ainsi des ruptures sous l'action des chocs répétés pendant la marche.

Les pistons sont forgés en acier fondu et sont de forme conique, afin de pouvoir diminuer leur épaisseur.

Les machines exposées sont au nombre de quatre, dont deux sont à examiner plus spécialement. L'une, de 200 chevaux effectifs, faisant 180 tours ; l'autre, de 60 chevaux, faisant 360 tours et actionnant directement une dynamo.

Ces deux machines sont du système Woolf, avec manivelles à 180 degrés et la distribution Hoffmann.

La distribution de la vapeur se fait au moyen de tiroirs cylindriques commandés par les bielles d'excentriques, à l'aide d'une seule articulation.

Les cylindres à haute pression ont deux tiroirs concentriques l'un dans l'autre.

Le tiroir extérieur détermine le mouvement d'admission de la vapeur et son échappement ; le tiroir intérieur, le point de commencement de la détente. C'est donc un tiroir de Meyer transformé en tiroir circulaire.

L'épure donne, par le tracé de Zeuner, les diverses phases d'admission obtenues avec ce tiroir.

Le tiroir intérieur du cylindre à haute pression agit sur la détente au moyen d'un régulateur à force centrifuge analogue à celui que nous avons décrit dans la première partie de ce travail: Armington, Lecouteux et Garnier, mais présensentant certaines particularités intéressantes dans la disposition de l'excentrique mobile, dans l'emploi d'un seul ressort antagoniste qui agit avec des forces égales sur les deux masses centrifuges.

Les dimensions de la machine Woolf de 200 chevaux sont les suivantes :

Nombre de tours.	180
Diamètre du petit cylindre.	400 m/m
— grand cylindre	600 »
Course.	450 »

Machine de 60 chevaux :

Diamètre du petit cylindre.	200 m/m
— grand cylindre	300 »
Course.	250 »
Nombre de tours	360

Le fonctionnement de ces machines est irréprochable et se fait sans aucun choc ni aucun bruit de vibration.

Machine à triple expansion de la Maison Weyher et Richemond

Ces machines ont été étudiées en vue de développer une grande puissance sous un très petit volume ; elles fonctionnent sans bruit ni trépidations ; le régulateur est extrêmement sensible ; une disposition spéciale permet d'obtenir toutes les variations de vitesse que l'on désire. Le système à triple expansion, les distributeurs équilibrés, les condenseurs à pulvérisation d'eau, les pompes à air à

fourreaux et à clapets étagés réduisent au minimum la dépense d'eau et de charbon.

Ces moteurs sont combinés pour commander directement les dynamos à l'aide d'une seule courroie et sans transmission intermédiaire, et c'est une des machines qui se sont le plus répandues dans ces installations : Hippodrome, Châtelet, Station Edison, Opéra, Palais-Royal, etc.

Le bâti porte à sa partie supérieure les cylindres superposés et formant un ensemble parfaitement rigide et indéformable. La partie inférieure reçoit l'arbre moteur à manivelles équilibrées placées sous un angle de 90 degrés.

Le devant de la machine étant entièrement libre, tous les organes sont facilement accessibles.

Les cylindres sont à enveloppe de vapeur et munis de soupapes permettant l'évacuation très rapide de l'eau accidentellement entraînée ou condensée.

La distribution se fait par quatre tiroirs équilibrés, d'une étanchéité parfaite, et disposés pour réduire les espaces nuisibles à leur minimum, tout en donnant de larges passages à la vapeur.

Le régulateur se compose d'une boîte circulaire fermée, dans laquelle se meuvent, sous l'action de la force centrifuge, des masses rappelées vers le centre par des ressorts puissants. Une disposition spéciale permet de régler l'action de ces masses de façon à obtenir toutes les variations de vitesse que l'on désire.

Le compensateur Denis assure l'indépendance des positions relatives du régulateur et de l'admission. Le condenseur, distinct de la machine, est actionné par un moteur spécial attaché sur le flanc de la pompe à air. Il est formé par une vaste cloche cylindrique à la base de laquelle se trouve une coupe de bronze ; au centre de cette coupe, un orifice circulaire laisse échapper une lame d'eau très mince qui vient se pulvériser sur les parois inclinées de la coupe. La cloche se remplit d'un brouillard qui condense instantanément la vapeur. L'eau nécessaire à la condensation est ainsi réduite à environ 180 litres par cheval et par heure.

La pompe à air est à deux cylindres, à fourreau en bronze, à clapets étagés. Le graissage des pièces est bien assuré par des dispositions à genouillère spéciale.

Nous décrirons ici le compensateur Denis, qui est appliqué par la Maison Weyher et Richemond à toutes les machines qu'elle construit. L'appareil Denis, dit compensateur, adapté à un régulateur ordinaire à force centrifuge, supprime d'une manière absolue l'intervention de la main du mécanicien pour conserver au moteur à vapeur une vitesse rigoureusement constante dans toutes les conditions de résistance et de puissance.

La plupart des régulateurs ont l'inconvénient d'être reliés d'une manière invariable avec l'organe, détente ou papillon qui modifie l'arrivée de la vapeur. Il en résulte que chaque variation dans la quantité de vapeur introduite est la

conséquence de la variation de position du régulateur, ce qui amène nécessairement une variation de vitesse dans la machine.

On a esssayé de remédier à cet inconvénient capital par un grand nombre de dispositions souvent ingénieuses, mais, quoique l'on soit parvenu à réaliser de grandes améliorations, on doit, dans la pratique, régler de temps en temps les régulateurs.

Au contraire, le mécanisme compensateur Denis, ajouté à un régulateur ordinaire à force centrifuge, tout en laissant à ce dernier son principal mérite, l'action instantanée, lui permet de revenir de suite à sa position normale, en laissant le papillon ou la détente dans la situation où il les avait amenés pour parer à la variation de résistance ou de puissance. On comprend que cet effet se produisant en toutes circonstances, la vitesse du moteur ne peut aucunement varier. Le mécanisme compensateur est entièrement indépendant du régulateur lui-même, auquel il laisse toute sa liberté et son instantanéité d'action ; cette circonstance permet de l'appliquer toujours facilement à une machine existante, déjà pourvue d'un régulateur ordinaire.

La planche 89-90 donne le détail du régulateur et son application à des machines locomobiles et mi-fixes et à des machines à détente variable par régulateur.

1° Le levier *a* du régulateur centrifuge *b* actionne le levier *c* du papillon par l'intermédiaire de la tringle *d*, dont la partie supérieure filetée traverse un écrou en bronze coulissant dans la chape qui termine le levier du papillon.

Le point de suspension du haut de la tringle lui permet de tourner librement sur elle-même ; sa partie inférieure se termine par un toc *c* à quatre ailettes, glissant dans les douilles alésées des deux roues d'angle *f*, *g*. Chacune de ces douilles porte une clavette intérieure en saillie, les deux clavettes laissant entre elles un espace libre égal à l'épaisseur des ailettes du toc.

Les deux roues *f*, *g*, reçoivent leur mouvement de rotation en sens inverse l'une de l'autre du pignon *h* calé sur l'arbre horizontal *i*, lequel est actionné lui-même par la vis sans fin terminant l'extrémité de l'arbre *m* qui donne le mouvement au régulateur.

Sur le dessin, le régulateur est figuré dans sa position moyenne correspondant à la vitesse normale de la machine ; on voit que, dans ce cas, le toc placé juste entre les deux clavettes n'est entraîné ni par l'un ni par l'autre.

S'il se produit une variation dans les résistances opposées à la machine, le régulateur va immédiatement changer de position et le toc viendraen prise avec l'une ou l'autre des clavettes qui l'entraînera dans le sens de son mouvement de rotation.

Il en résulte que la tringle filetée montera ou descendra suivant les cas, dans l'écrou en bronze du levier du papillon et permettra ainsi au régulateur de reve-

nir de suite à sa position normale sans modifier le degré d'ouverture auquel il avait amené le papillon.

Le régulateur étant revenu à sa position moyenne, il est évident que la vitesse de la machine est exactement la même qu'auparavant.

2° Le levier *a* du régulateur *b* actionne la came de détente *c* par l'intermédiaire de la tringle *d* dont la partie inférieure filetée fait office de crémaillère sur la roue dentée *e* calée sur l'arbre de la came.

Le point de suspension de la tringle lui permet de tourner librement sur elle-même, et, ainsi que dans le cas précédent, un système de roues d'angle *f*, *g*, commandées par un pignon *h* est disposé pour faire tourner la tringle dans un sens ou dans l'autre dès que le régulateur s'écarte de sa position moyenne correspondant à la vitesse normale de la machine.

Si donc une variation se produit dans la résistance, le régulateur va immédiatement changer de position et la partie filetée de la tringle agissant comme crémaillère sur la roue *c*, mettra instantanément la came de détente dans la position voulue; au même moment, la tringle tourne entraînée par l'une ou l'autre des roues *f*, *g*, sa partie filetée monte ou descend, suivant les cas, sur les dents de la roue *e* formant écrou, permettant ainsi au régulateur de revenir à sa position normale sans modifier celle qu'il vient de donner à la came pour parer à la variation de résistance; et, par suite, il est évident que la vitesse de la machine est exactement la même qu'auparavant.

Les machines proposées pour actionner directement par courroie les dynamos, sont du type vertical à triple expansion et à condensation.

La vapeur à la pression de 10 kilogrammes, agit dans un premier cylindre — dit petit cylindre — pendant la moitié de la course du piston, puis se rend, après avoir doublé de volume, dans un deuxième cylindre — dit moyen cylindre — où elle continue à se détendre, et enfin dans deux autres cylindres à basse pression où s'achève l'expansion.

Le petit et le moyen cylindre sont disposés en tandem sur les grands. Le rapport du volume introduit au volume échappé est de 1/12°.

Les tiroirs de distributions des deux premiers cylindres sont cylindriques, munis de segments et complètement équilibrés. Des fourreaux en fonte dure, rapportés dans les cylindres et percés d'orifices à chaque extrémité pour le passage de la vapeur, font l'office de tables de distribution des tiroirs.

Les tiroirs des grands cylindres sont plans et à doubles orifices pour en réduire la course. Ces tiroirs et les précédents sont mûs par des excentriques circulaires au nombre de deux, calés sur l'arbre des manivelles, et par l'intermédiaire de mouvement de balancier, de manière à compenser les poids sur les extrémités des dits balanciers.

Les boîtes à étoupes des tiges de piston et des tiges de tiroirs ordinairement employées, sont ici remplacées par des boîtes à garniture métallique.

L'arbre moteur est composé de deux vilebrequins à plateau, réunis par des boulons. L'angle formé par les manivelles est de 90°.

Les pistons communiquent leur mouvement aux manivelles de l'arbre moteur par l'intermédiaire de tiges reliées par des écrous aux coulisseaux des glissières, et de bielles à fourche. Les coulisseaux sont en bronze et leur axe d'articulation en fer cémenté et trempé. Les tiges de piston sont en acier fondu. Les bielles motrices ainsi que leurs chapeaux et boulons et les arbres moteurs sont en acier.

Les articulations sont toutes garnies de coussinets en bronze dur ou de bagues en fer cémenté et trempé présentant de grandes surfaces de frottement.

Les cylindres à vapeur sont à enveloppe avec circulation de vapeur. Ils sont recouverts d'une couche de matière isolante maintenue par une enveloppe en tôle.

Des soupapes à ressort sont disposées à chaque fond et couvercle de cylindre pour éviter les accidents produits par l'eau entraînée dans les conduites.

Les diverses parties de la machine sont supportées par un bâti en fonte et des colonnes en fer laissant un accès très facile des organes pour le démontage et le graissage.

La lubrification des cylindres et tiroirs se fait au moyen d'un oléomètre — à goutte visible — placé sur l'arrivée de vapeur.

Le graissage des diverses parties frottantes se fait au moyen de godets, munis de couvercles à vis pouvant se serrer à la main pendant le fonctionnement de la machine. Ces godets contiennent de la graisse pour une marche de douze heures.

L'arbre moteur porte à chaque extrémité une poulie volant qui reçoit la courroie de commande de la dynamo.

Un de ces volants contient le régulateur de vitesse. Ce régulateur est composé de deux masses en fonte réunies par des ressorts spirales en acier, dont l'écartement plus ou moins grand sous l'influence de la force centrifuge, produit le mouvement d'une tige verticale qui actionne la valve placée dans le canal d'arrivée de vapeur.

Le régulateur, vu le poids des masses, est d'une grande sensibilité et énergie. Il est constamment ramené à sa position moyenne correspondante à la marche normale de la machine par l'effet d'un compensateur — système Denis — qui est placé sur le trajet de la tige verticale qui commande la valve.

Ce compensateur reçoit son mouvement de la machine elle-même.

L'écart dans le nombre de tours n'est pas de plus de 1/200° de celui qui correspond à la vitesse de régime.

Un robinet à soupape pour la prise de vapeur et un robinet à valve pour l'échappement, permettent de marcher avec un moteur quelconque ou de l'isoler des autres machines en service.

Deux escaliers et une passerelle en fer formant galerie donnent accès à la partie supérieure des moteurs.

Cette machine fonctionne d'une manière absolument parfaite et est d'une construction très soignée.

C'est un des meilleurs types à recommander pour les installations d'électricité.

MACHINES COMPACTES

Machines Westinghouse

(Planche 91)

Les cylindres AA et la chambre des tiroirs B sont fondus d'une seule pièce et boulonnés sur le logement ou boîte à manivelle C. Les couvercles de cylindre *a,a,* ferment les extrémités supérieures des cylindres seulement ; les parties inférieures sont découvertes et ouvrent directement dans la chambre de la boîte à manivelles.

Les pistons D,D, sont en forme de manchon à double fond dans le haut, pour empêcher la condensation ; ils sont ouverts dans le bas et munis de goujons en acier cémenté, *b,b.* Ils sont garnis de quatre segments.

Les bielles motrices, F,F, sont creuses avec nervures, et ne peuvent subir que de la compression ; les manivelles, G,G, en équilibre par des contrepoids *x,x,* le goujon de la manivelle, P, et l'arbre de la manivelle, HH, sont en acier et peuvent être changés en enlevant le couvercle de la boîte à manivelles, C. L'acier des manivelles est fondu sous pression, il est pur, et l'excellence de sa qualité est démontrée par le fait qu'il peut, étant trempé, servir comme outil sur un tour.

Les coussinets de l'arbre de la manivelle ont la disposition de fourreaux mobiles, *d,d,* garnis de métal blanc antifriction qui est forcé en place sous une pression hydraulique de 23 kil. 650 par millimètre carré.

Une chambre est ménagée dans la bride du fourreau, *d,* entourée par le couvercle *d'*. Dans cette chambre, et tournant avec l'arbre, se trouve l'essuyeur W, qui recueille l'huile quand elle passe sur les coussinets et la renvoie par le tuyau,

e, dans la boîte à manivelles C. Cette disposition rend inutile toute autre lubrification et maintient la machine en parfait état de propreté.

Un siphon de trop-plein, avec chapeau à entonnoir, *n*, empêche toute accumulation d'eau au-dessus du niveau de la conduite, *e*, et en même temps prévient la fuite de l'huile. Ce trop-plein peut être à volonté branché à l'ouverture, O, dans le chapeau-entonnoir. Les colliers, *t,t*, en bronze, forment les coussinets de l'extrémité des manivelles. Des colliers de plomb, *v*, empêchent les manchons coniques d'être trop relevés, ce qui ferait gripper. Un coussinet central K, relie les deux côtés de la boîte à manivelles, et reçoit la poussée des pistons.

Le couvercle, *h*, s'enlève pour permettre l'accès des manivelles.

Le tiroir V est du genre piston, d'une construction perfectionnée, il se compose d'une entretoise, *i,i*, des têtes, *j,j*, en fonte malléable, et des segments, *k,k*, le tout assemblé par la tige et l'écrou, *l*.

Le guide du tiroir, J, remplace un presse-étoupes prévenant l'échappement de la vapeur contenue dans les passages au-dessus. Le guide du tiroir, ainsi que le tiroir et les deux pistons, sont garnis avec des segments simples en fonte.

La tige du tiroir, *m*, est clavetée sur le guide, et tient le tiroir sans serrer entre l'écrou de l'extrémité supérieure et le collier de l'extrémité inférieure, ainsi qu'il est indiqué.

La boîte à manivelles est alimentée d'eau par le tuyau, R, R, et le niveau en est indiqué dans le chapeau-entonnoir du trop-plein précité. L'eau ne peut pas s'élever trop haut, mais on devra avoir soin qu'elle ne s'abaisse jamais jusqu'à disparaître dans l'entonnoir.

Comme quelques-unes de ces machines ont une tendance à laisser échapper lentement l'eau de la boîte à manivelles, l'on a ajouté une conduite de vidange et une soupape, *u*, qui est laissée entr'ouverte, pour drainer les ouvertures d'échappement dans la boîte à manivelles, et maintenir ainsi l'approvisionnement.

Cette soupape ne devra pas être assez ouverte pour permettre à l'échappement de vapeur de passer au travers.

L'huile destinée à la lubrification de toutes les parties internes peut aussi être introduite par la conduite, R, mais il est préférable de maintenir une alimentation constante par les graisseurs, *f,f*, sur les coussinets principaux, assurant ainsi tout d'abord leur graissage, et l'huile est ensuite renvoyée dans la chambre, par les essuyeurs, au profit du bouton de la manivelle et de tous les autres coussinets. Il n'est pas besoin d'autre graissage que celui obtenu par ces graisseurs. Le devant de l'enveloppe cache le réservoir à l'huile, O, qui remplit tout l'espace entre les cylindres et alimente les graisseurs, *f,f*, par les tuyaux cachés et les robinets *l,l*. Une fois le réservoir rempli jusqu'à *q*, il durera longtemps, et toute la lubrification de la machine (excepté les tiroirs et les cylindres qui sont, comme à l'ordinaire, graissés par la prise de vapeur) est ainsi introduite par un seul endroit. Les robinets *l,l* devront rester ouverts pour assurer un écoulement

constant, mais lent, de l'huile dans le graisseur. M et N, sont respectivement les points d'échappement et de prise de vapeur.

Le volant type est une combinaison de la poulie, Z, et du volant, Y, fondus ensemble, de façon que la poulie soit en saillie au-dessus des coussinets principaux, rejetant l'effort de la courroie vers le centre du coussinet, et évitant la vibration de l'arbre.

Le régulateur automatique est analogue à ceux que nous avons décrits précédemment.

Chaque cylindre est à simple effet.

L'admission de vapeur annulaire, *p*, communique avec le haut d'un cylindre et *p'* avec le haut de l'autre. La vapeur entrant en M et entourant le tiroir dans la chambre, *s*,*s*, est admise alternativement dans le haut de chaque cylindre, attendu que les bords internes du tiroir découvrent les orifices, *p*, *p'*, et la compression est réglée par les bords externes du tiroir selon le mode usuel. L'échappement dans le haut de la chambre du tiroir passe dans le tuyau d'échappement à travers la tige creuse du tiroir. Dans la coupe, la vapeur entre par l'orifice, *p*, et s'échappe en *p'*.

S'il est convenablement réglé, le régulateur ne fonctionnera pas avant que la machine ne marche à un pour cent de sa vitesse nominale et il aura accompli sa course entière avant que la machine n'ait marché à un pour cent trop vite. Cela donne un écart total de deux pour cent.

Le régulateur agit non seulement sur la vapeur vive, mais aussi bien sur celle de l'échappement. Les lignes pleines montrent l'action sur la vapeur, et les lignes pointillées l'action sur l'échappement. Lorsque la détente est augmentée, la compression augmente, cette résistance n'est pas une perte, attendu que, comme un ressort, elle redonne la majeure partie de la force à la course suivante et maintient la chaleur des surfaces intérieures.

Ces machines consomment environ 15 kilogrammes par cheval et par heure d'après les constructeurs.

Ces machines à grande vitesse, d'une puissance de 100 chevaux effectifs, occupent un espace très restreint et sont fort bien étudiées au point de vue de la résistance des pièces aux grandes vitesses. Elles exigent une exécution parfaite car, malgré la facilité de la visite, dès qu'il y aurait les moindres jeux produits, on aurait des avaries et des arrêts en marche, ce qui est fort préjudiciable pour les stations d'électricité en particulier.

Ce type de machine est assez répandu en Angleterre.

Machines à vapeur à distribution centrale (système Ch. Brown), construites par Weidknecht

(Planches 92-93)

Le principe consiste particulièrement dans le système de distribution centrale pour machine compound à simple ou à double effet.

Dans cette série de machines, le cylindre à haute pression occupe une position centrale et son piston agit sur une manivelle centrale ; le cylindre à basse pression, de forme annulaire, embrasse le cylindre à haute pression et son piston commande deux manivelles placées de chaque côté que celle du piston central. Par cette disposition les pistons marchant en sens inverse et les forces vives se compensant mutuellement, on assure à la machine une marche douce et une grande stabilité malgré la vitesse. Les pistons marchant simultanément, mais en sens inverse, il s'en suit que la distribution peut se faire par un seul appareil distributeur, les périodes d'admission et d'échappement étant identiques, sauf de légères différences nécessitées par la différence de la densité de la vapeur dans les cylindres, qui exige des valeurs différentes de compression pour amortir les forces vives des pistons et organes de transmission pour assurer une marche douce.

Le régulateur est dans un volant et agit simplement sur un appareil étrangleur ; l'avantage d'un appareil à détente variable pour la régulation de ces machines compound ne vaut guère, d'après M. Brown, la complication et la dépense qu'elle entraîne. Les volants, au nombre de deux, sont du même poids pour charger également les coussinets, et d'un grand diamètre pour réduire leur poids.

Le principe de ces machines a été étudié dans le but d'obtenir des sections plus grandes des lumières pour l'admission et la sortie de la vapeur des machines compound et aussi de raccourcir le chemin de la vapeur d'un cylindre à l'autre pour éviter les chutes de pression entre les deux cylindres, réduire les pertes par le frottement de la vapeur et diminuer les espaces nuisibles ; les orifices placés sur tout le pourtour du cylindre présentent encore l'avantage que la vapeur se répand simultanément sur toute la surface du piston. De plus, en plaçant le petit cylindre dans le grand, les pertes par radiation nuisible sont réduites au minimum, et par la position du passage dans l'intérieur de la machine, la vapeur perd moins de chaleur et par suite perd moins de pression et moins de force.

Les dessins de la planche 92-93 représentent le principe appliqué à divers types de machines à vapeur compound. Les mêmes lettres indiquent les mêmes organes des diverses machines figurées sur la planche.

Machine à double effet. — Les figures 1, 2, 3 représentent une machine compound à double effet. A, le petit cylindre ; A', le petit piston ; B, le grand

cylindre ; B', le grand piston, de forme annulaire ; CC, espace ménagé entre les parois du petit et du grand cylindre et qui forme le récipient intermédiaire pour la vapeur ayant travaillé dans le petit cylindre avant qu'elle se rende dans le grand par la distribution centrale ; DD tiroirs-pistons formés par deux tiroirs annulaires, un pour chaque extrémité des cylindres, dont le corps supérieur est relié au corps inférieur par les entretoises creuses ; *d*, *d*, *d*, les dites entretoises servant en même temps au passage de la vapeur et de la boîte E à la boîte E'. F et F' chambres pour recevoir la vapeur d'échappement, reliées par les passages *g*, *g*, au tuyau d'échappement G ; I, arbre coudé à trois manivelles : *i*, pour recevoir l'impulsion du petit piston moyennant : bielle, glissières, crosse et tige de piston comme d'habitude ; *i'*, *i'*, pour recevoir l'impulsion du grand cylindre moyennant deux bielles et leurs accessoires. Cette machine étant à double effet et par suite les efforts sur les articulations des organes de transmission se produisant dans les deux sens deux fois par chaque révolution, il est indispensable que les organes soient bien en vue pour retirer le jeu qui se produit.

L'écart des manivelles *i* et *i'*, *i'* est de 180° ; *i''*, *i''* sont deux excentriques qui commandent les tiroirs-pistons D D, moyennant les organes usuels, *a*, *a*, lumières circonférencielles du petit cylindre ; *b*, *b'*, du grand ; *f*, *f'*, des chambres F F; 1, 1, 2, 2 et 3, 3, garnitures à bagues élastiques des tiroirs D D.

Les bagues 1, 1, règlent l'admission de la vapeur dans le petit cylindre et l'échappement dans le récipient intermédiaire C ; les bagues 2, 2, règlent l'admission de la vapeur du récipient *c*, dans le grand cylindre ainsi que l'échappement ; les bagues 3, 3, servent à empêcher le passage de la vapeur vive des boîtes EE, à l'échappement *f*, *f*.

Dans les positions du petit et du grand piston indiquées sur les figures 1 et 2, la vapeur est admise sous le petit piston par la lumière *a*, et elle échappe au-dessus par la lumière *a*, dans le récipient *c* ; et de là elle est admise au-dessus du grand piston par la lumière *b*. L'échappement du dessous du grand piston a lieu par les lumières *b'* en *f'*, passant par la gorge ménagée sur le corps du tiroir entre les bagues 2 et 3 et ainsi de suite.

Figures 4 et 5 : cylindres de machines à double effet où la paroi qui sépare le petit du grand cylindre annulaire, se fait par deux corps cylindriques dont le tiroir-piston est composé, les flèches indiquent le jeu de la vapeur.

Les dimensions d'une machine à double effet sont les suivantes (fig. 1, 2, 3) :

Petit piston : diamètre	320	section	$0^{m^2},0804$
Grand » »	660-840	»	0 ,2120
Course des pistons.			$0^m,300$
Rapport de détente.			0,18
Nombre de tours.			250
Pression de la vapeur.			6 kil.
Force en chevaux			100
Encombrement de la machine			$2^m,000$ sur $1^m,250$

Machine à simple effet. — Ces machines sont du type dit *Box engine Type*, où les organes de transmission sont enfermés dans une caisse ou boîte qui contient la matière lubrifiante dans laquelle plongent les manivelles qui, par leur rotation, produisent un fort remous assurant la lubrification très abondante de tous les organes en mouvement ; un purgeur automatique débarrasse continuellement ce bain lubrifieur de l'eau de condensation qui pourrait passer par les pistons.

Ce type de machine est destiné à marcher à grande vitesse et pendant des périodes prolongées sans arrêt et où l'application des moyens ordinaires de lubrification est impossible.

Cet avantage de pouvoir marcher pendant des périodes prolongées sans arrêt résulte encore du mode de fonctionnement des machines à simple effet, car tous les organes de transmission recevant la force toujours dans le même sens, et pendant les intervalles où ils n'agissent pas, les pistons travaillent à la compression, il s'en suit que les articulations sont toujours en contact dans le même sens, de sorte que l'allure de la machine reste douce malgré le jeu produit par l'usure des organes. A la rigueur, la moitié des coussinets, du côté où ils ne reçoivent pas d'effort, pourrait être supprimée ou réduite de largeur, ce qui diminue le frottement et assure un effet utile un peu plus grand.

On voit par ce qui précède que ces machines peuvent marcher longtemps sans qu'on soit obligé de réajuster les coussinets.

Les figures 6, 7 et 8 représentent une machine compound à simple effet et sans condensation.

Le tiroir-piston de cette machine, placé dans le prolongement du petit cylindre est divisé en deux parties, à savoir : la partie supérieure D avec garniture élastique 1, 1, réglant l'admission de la vapeur au petit cylindre par la lumière *a* ; de là, la vapeur se rend par les passages *d*, *d*, ménagés dans le corps de la partie inférieure du tiroir-piston D' au petit cylindre ; D' est muni de trois garnitures élastiques 2, 2, 3, 3 et 4, 4 ; 2, 2 règle l'échappement du petit cylindre dans le récipient C ; 3, 3 règle l'admission au grand cylindre et aussi l'échappement par les lumières *b* et *f*. La vapeur du petit cylindre arrive par les trous *d*, *d'*, *d* ; le jeu de la vapeur est indiqué par les flèches.

Le mouvement des pistons est transmis à l'arbre coudé I et aux manivelles *i* et *i'*, *i'*, par des bielles qui sont articulées directement aux pistons A et B. Le tiroir de distribution est commandé par les excentriques *i''* et *i''* et leurs bielles et les organes de transmission qui se composent du cadre M des tiges *m*, *m*, qui sont reliées à la crosse N et à la tige *n* du tiroir.

Les figures 9 et 10 représentent une machine compound à simple effet et à condensation ; figure 9 : section verticale de la machine, et figure 10 : coupe horizontale montrant les organes de distribution et leur jeu.

Dans cette machine, la distribution est du type dit de Kackwarth ou distri-

bution sans excentrique. Elle est dérivée de la bielle du petit cylindre et grâce aux proportions bien établies du mécanisme, la distribution se fait d'une manière convenable, tout en ne se servant que d'un seul tiroir-piston. L'admission au petit cylindre se fait pendant 35 % de la course et au grand pendant 65 %; l'échappement du petit cylindre commence au moment où le piston a accompli 98 % de sa course; l'échappement du grand se fait par le piston même et commence quand le piston a accompli 90 % de sa course. Ceci est admissible pour une machine à condensation, et présente l'avantage que les parois du cylindre sont exposées moins longtemps à l'action refroidissante du condenseur. De plus, par la position des ouvertures d'échappement, le cylindre se vide très complètement de l'eau de condensation à chaque révolution et l'ouverture rapide au moment du démasquage par le piston, établit un courant de vapeur qui balaye a surface supérieure du piston de toute humidité. Comme ce type de machine est spécialement destiné à être accouplé directement aux dynamos et à marcher en groupes, le condenseur et la pompe à air sont en commun pour chaque groupe d'appareils et munis d'une machine à vapeur spéciale. Cette disposition est nécessaire car la vitesse de 240 tours est trop grande pour le bon fonctionnement de la pompe à air. Pour éviter tout jeu ou bruit dans les articulations du mécanisme de la distribution, la tige du tiroir a un diamètre assez fort pour que la pression de la vapeur sur sa section soit suffisante pour assurer que l'effort sur les articulations se produise toujours dans le même sens.

Les dimensions principales de la machine à simple effet et à condensation, suivant le type des figures 9 et 10, sont les suivantes :

Petit piston :	diamètre 420 $^m/_m$,	section 1385^{cmq}
Grand » :	» 1050 × 550 $^m/_m$,	» 6284^{cmq}
Course des pistons		450 $^m/_m$.
Nombre de tours		240
Pression de la vapeur		10 à 12^k.
Force en chevaux		250
Encombrement de la machine		2^{m}550 sur 2^{m}100

Cette machine a aussi son mouvement enfermé et barbotant dans un bain d'huile, mais dans une caisse indépendante des cylindres; la machine étant à condensation, les cylindres sont fermés quoiqu'à simple effet et le fond des cylindres est toujours en communication avec le condenseur qui absorbe la vapeur qui pourrait pénétrer dans cette partie. Cette machine étant à condensation, l'échappement peut se faire par le grand piston même qui, à la fin de sa course B", démasque les nombreux trous *f. f*.... faisant communication avec la chambre d'échappement F et le tuyau G qui mène au condenseur.

Le petit cylindre est muni de deux lumières circonférentielles *a* pour l'ad-

mission et *a'* pour la sortie de la vapeur ; de cette dernière la vapeur se rend dans le grand par la lumière *b*. Le jeu de la vapeur est indiqué par les flèches. Le grand cylindre est muni d'une enveloppe de vapeur. Les cylindres, n'étant pas ouverts, les pistons sont munis de tiges et le mouvement est transmis à l'arbre par l'intermédiaire de crosses guidées et de bielles. Une machine à simple effet, figurant à l'Exposition, a les dimensions suivantes :

Petit piston : diamètre 250 $^m/_m$, section	$0^{m2},0490$
Grand » » 410 × 600 $^m/_m$	0 ,1587
Nombre de tours	400
Pression de la vapeur.	6 kil.
Course des pistons	$0^m,250$
Rapport de détente.	0,22
Force en chevaux	50
Encombrement de la machine	2 mètres sur 1 mètre.

Cette machine, d'un type nouveau, est fort ingénieuse. Elle est à la hauteur des créations précédentes de M. Brown, et il est probable que ses résultats pratiques seront satisfaisants.

Machine rotative Bonjour

(Planche 94)

Cette machine, dont nous donnons le dessin planche 94, peut tourner à 1800 tours à la minute. On voit que le mouvement de rotation de l'arbre est donné par la résultante des mouvements à angle droit des deux pistons qui fonctionnent en compound.

Ce dessin représente une machine à détente variable à la main ; cette machine se construit aussi à détente fixe.

Cette machine spéciale peut trouver son application dans certains cas particuliers d'éclairage électrique, de ventilation, etc.

Machine de Montrichard

(Planche 94)

Nous pouvons encore signaler comme machine compacte la machine de Montrichard à mouvement elliptique avec piston distributeur.

Le piston, guidé par des contacts, a une forme telle qu'il est animé d'un mouvement de va et vient en même temps que d'un mouvement de rotation.

Il est à craindre que ce système donne lieu à beaucoup d'usure et que les fuites de vapeur produites n'augmentent la consommation de vapeur dans d'assez grandes proportions.

Turbo-moteur Parsons. (Weyher et Richemond)

(Planches 95-96)

Ce turbo-moteur, construit par la maison Weyher et Richemond, permet d'obtenir avec un appareil de faible dimension une vitesse de rotation assez grande pour attaquer directement une dynamo marchant à 9000 ou 10 000 tours à la minute.

La turbine à vapeur compound se compose de deux séries de turbines Jonval juxtaposées sur un même arbre S' de sorte que chaque turbine reçoit la vapeur de la précédente et la transmet à la suivante.

La vapeur se détend donc depuis l'arrivée de vapeur jusqu'à l'échappement, et pour répondre à ce fait, les dimensions des canaux de passage vont en s'augmentant pour avoir une distribution convenable à travers toute la série.

Les turbines sont constituées par des couronnes d'ailettes alternativement tournantes et fixes.

Les ailettes tournantes *r* sont calées sur l'arbre S. Les ailettes fixes avec canaux inclinés en sens opposé à celui des ailettes mobiles, sont fixées sur le cylindre enveloppe.

Cette machine, à cause de sa grande vitesse de rotation, est munie de coussinets spéciaux. Le graissage qui doit être très énergique fait également l'objet d'une disposition spéciale très ingénieuse.

L'huile est aspirée jusqu'au niveau de l'axe J par l'action du ventilateur, et de là elle circule dans tous les autres organes et est reprise par le tuyau de retour U et remontée en P, par le régulateur. La circulation est donc continue.

Le ventilateur sert aussi à la régularisation de la vitesse de rotation de la façon suivante :

Sur le fût des électros se trouve le régulateur G dont la mise en action a lieu par l'attraction du fût des aimants sur une petite barrette ou aiguille en fer *n* exactement équilibrée et montée sur un pivot vertical ; un ressort en spirale *s* contrebalance cette attraction. Un double doigt ou bras *r* est calé sur le pivot vertical ; l'extrémité de chacun de ces doigts est une portion de cylindre vertical, dont le pivot forme l'axe central, et lorsqu'il se trouve en face de l'orifice *i*, communiquant au tuyau d'air Y, il le tient fermé.

Le ressort spiral *s* est réglé par la tête mobile *h*, de telle façon que l'orifice *i* se trouve obstrué de plus en plus à mesure que l'attraction croît. Lorsque l'orifice *i* est découvert, l'afflux d'air par le tuyau Y neutralise en partie l'aspiration du ventilateur F, et permet au diaphragme L de s'étendre et par suite d'ouvrir

la valve d'admission V. Le régulateur règle l'admission de la vapeur proportionnellement à l'intensité du champ magnétique, sans avoir par lui même aucun effort à développer pour conduire la valve ; aussi le résultat obtenu est-il parfait et il est possible de faire varier la charge de la machine graduellement de 0 à son maximum de puissance, sans atteindre une variation de plus de 1 % dans la différence de potentiel.

Note A

EXTRAIT DU COMPTE RENDU DES SÉANCES DU TREIZIÈME CONGRÈS DES INGÉNIEURS EN CHEF DES ASSOCIATIONS DE PROPRIÉTAIRES D'APPAREILS A VAPEUR.

. . . .

Rapport de MM. Coste et Bour.

1° La machine compound est nécessairement peu élastique et son fonctionnement normal, pour les conditions de marche prévues par le constructeur peu devenir très défectueux dès que l'on s'écarte de ces conditions.

2° La machine compound se prête moins bien à une marche régulière que la machine à un seul cylindre, lorsqu'elle est appliquée à un travail variable.

3° La machine compound ne se prête pas facilement à la marche double, en ce sens que les conditions d'établissement d'une machine à condensation diffèrent de celles d'une machine à échappement libre. Ainsi, quand on s'écarte pour une même machine d'une certaine puissance moyenne, on est exposé à trouver pour l'une des deux marches, un fonctionnement très défectueux.

4° Les machines compound sans condensation présentent à un degré exagéré tous les inconvénients que nous trouvons aux machines compound à condensation.

5° La machine compound ne nous semble pas pouvoir être considérée comme un moteur industriel susceptible d'être établi suivant des types fixes, capables de répondre aux exigences générales des ateliers. Bonne pour certains cas, elle peut, dans d'autres, donner lieu à de graves mécomptes, si elle n'a pas été établie en prenant des précautions spéciales.

Il y a même des cas où elle ne devrait jamais être adoptée. La machine à un seul cylindre permet au contraire de constituer des types d'un emploi plus général.

La détente multiple a certainement amené des améliorations considérables dans les machines marines pour lesquelles elle est admise aujourd'hui sans conteste.

Note B

EXTRAIT DU RAPPORT DE M. WALTHER-MEUNIER, INGÉNIEUR EN CHEF DE L'ASSOCIATION ALSACIENNE DE PROPRIÉTAIRES D'APPAREILS A VAPEUR, SUR LES TRAVAUX EXÉCUTÉS SOUS SA DIRECTION DU 1er JANVIER AU 31 DÉCEMBRE 1888.

La faveur dont jouissent les machines compound nous a amené à établir la moyenne de consommations de ce genre de moteurs expérimentés par nous dans les dernières années, et celles de machines à un cylindre fournissant, autant que possible, la même puissance indiquée. Les résultats de cinq séries d'expériences sur chaque type sont consignés dans le tableau page 135, les consommations étant données en kilogrammes de vapeur par heure et force de cheval indiquée.

Si nous prenons la moyenne des consommations dans les deux cas, nous arrivons, en faveur de la machine compound, à une différence de :

$$7.843 - 7.2056 = 0.6374,$$

soit 8,126 %.

D'autre part, la moyenne de quatre essais au frein exécutés sur des machines compound, nous donne un rendement de 0,8815, et la moyenne de deux essais au frein de machines à un cylindre, 0,9115.

Différence en faveur de la machine à un cylindre, 0,03, soit 3 %.

D'où différence en faveur de la machine compound en tenant compte de la puissance effective utile sur l'arbre volant, 5,126 %.

Si parmi les machines à un cylindre de construction récente, nous prenons d'une part la Corliss Creusot consommant 7 kil. 690, et d'autre part la Wheelock tandem consommant 7 kil. 233, la différence de consommation n'est plus que de 0 kil. 457 ou 5,942 %.

Nous obtenons un chiffre se rapprochant beaucoup de ce dernier en comparant la Corliss Berger consommant. 7,605
à la machine à quatre tiroirs plans consommant 7,188
la différence est de. . . . . 0^{k},417 ou 5,483 %

En tenant compte des différences de rendement, l'avantage de la machine compound se réduirait, dans ces deux derniers cas, à 5,7125 — 3 = 2,7125 %.

En présence de ces considérations nous croyons qu'il y a lieu, dans chaque cas particulier, d'examiner attentivement à quel genre de moteur il faut donner la préférence ; cet examen devra constater d'abord si l'intérêt et l'amortissement

de la plus-value du moteur compound sont inférieurs à la dépense annuelle de combustible plus forte de la machine à un cylindre. En second lieu les frais d'entretien et de graissage sont plus élevés pour la machine compound que pour un moteur à un cylindre de la même puissance.

La réputation faite aux machines compound s'explique principalement par les résultats avantageux obtenus dans la marine, où ce type a eu les premières applications. Pour les moteurs industriels, en dehors des considérations pécuniaires énoncées ci-dessus, nous devons tenir compte encore des conditions de fonctionnement. Une machine à un cylindre peut être plus facilement confiée à un soigneur médiocre qu'un moteur compound. Celui-ci étant même disposé pour recevoir de la vapeur directe dans les deux cylindres ne fonctionnera pas dans des conditions avantageuses si, pour une cause quelconque, le petit cylindre vient à manquer. Il faut alors introduire la vapeur dans le grand cylindre fonctionnant seul, à une pression assez basse pour que les organes ne soient pas compromis, ce qui entraîne une marche peu économique. Si au contraire nous avons une machine jumelle dont l'un des cylindres est arrêté, le second fonctionnera dans des conditions tout aussi avantageuses qu'en marche ordinaire. Cette considération est aussi à faire valoir surtout lorsque le moteur constitue une machine de secours à laquelle on demande un travail variant du simple au double, par exemple. Il est alors tout indiqué de ne marcher qu'avec un seul cylindre.

Pour de très grandes puissances, la machine compound se recommande tant au point de vue économique que sous le rapport du fonctionnement, quand celui-ci est constant. Par contre, quand le moteur n'a pas à fournir au-delà de 200 à 250 chevaux, nous pensons qu'avec la perfection de la construction moderne la machine à un cylindre est préférable à cause de sa simplicité.

Dans ce qui précède nous ne considérons pas les moteurs à grande vitesse et de petites dimensions qui constituent une catégorie spéciale, et nos appréciations se bornent aux machines usitées comme moteurs industriels pour lesquels doivent entrer en ligne de compte le prix d'installation, les besoins de fabrication et l'absence de complications qui constituent toujours un facteur désavantageux.

En résumé, dans l'état actuel de la question, nous devons nous borner à soumettre aux intéressés les observations précédentes, en attendant qu'un plus grand nombre d'expériences vienne les confirmer ou les modifier. Nous tenons seulement à mettre l'acquéreur d'un moteur à vapeur en garde contre un entraînement qui, dans certains cas, est absolument justifié; mais qui, dans d'autres, pourrait causer des surprises désagréables.

Tableau comparatif des consommations de machines compound et de moteurs à un cylindre.

MACHINES COMPOUND				MACHINES A UN CYLINDRE			
SYSTÈME	PUISSANCE INDIQUÉE	CONSOMMATION	OBSERVATIONS	SYSTÈME	PUISSANCE INDIQUÉE	CONSOMMATION	OBSERVATIONS
4 tiroirs	66 chev.	7k,346	Manivelles à 90°	Corliss Creusot.	152 chev.	7k,690	
Wheelock. . . .	128 »	7 ,233	Tandem simple.	» »	156 »	7 ,730	
4 tiroirs plats. .	254 »	7 ,188	Manivelles 90° .	» Berger .	215 »	7 ,605	
Wheelock. . . .	308 »	7 ,130	2 tandems jumel.	» ancienne	305 »	8, 170	2 jumelles
Corliss Berger .	310 »	7 ,229	Manivelles à 90°	» »	260 »	8 ,020	»
Sommes	1066 chev.	31 ,128			1088 chev.	39 ,215	
Moyennes. . . .	2135 »	7 ,2056			517 »	7,843	

TABLE DES MATIÈRES

Les pages 1 à 20 font partie d'un autre volume.

Machines à tiroirs ordinaires.

Machines à quatre distributeurs.

Machines woolf.

Machines compound.

Machines horizontales à grande vitesse.

Machines verticales à grande vitesse.

Machines compactes.

Note A.

Note B.

